



**KAPILA SILVINO
SOPA CHISSAMA**

**CARACTERIZAÇÃO DO ADOBE PRODUZIDO COM
SOLOS DE CAMABATELA E HUAMBO – ANGOLA**



**KAPILA SILVINO
SOPA CHISSAMA**

**CARACTERIZAÇÃO DO ADOBE PRODUZIDO COM
SOLOS DE CAMABATELA E HUAMBO – ANGOLA**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Catedrático Aníbal Guimarães da Costa e do Professor Doutor Humberto Salazar Amorim Varum do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

Este trabalho é dedicado aos meus pais e à minha noiva pelo incansável apoio.

o júri

Presidente

Prof. Dr. Paulo Barreto Cachim

professor associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto

professor auxiliar da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Aníbal Guimarães da Costa

professor catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Humberto Salazar Amorim Varum

professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas que, de uma forma directa ou indirecta contribuíram para que este trabalho fosse desenvolvido.

Começo por agradecer ao Professor Doutor Humberto Varum, por me ter envolvido nesta pesquisa, no qual este trabalho se baseia. Agradeço por toda a paciência e dedicação e pelos ensinamentos que me transmitiu neste trabalho e ao longo do curso em particular.

Ao Professor Doutor Aníbal Guimarães da Costa pela orientação e ensinamentos que transmitiu-me ao longo do curso.

À Professora Isabel Martins pelo apoio, orientação, disponibilidade e partilha de conhecimentos em Angola que foram muito úteis para o progresso desta dissertação.

Ao Professor Doutor Benga Pedro, pelo apoio concedido no Departamento de Arquitectura da Universidade Agostinho Neto em Luanda.

Ao Professor Fernando Bonito expresse a minha gratidão pelos ensinamentos transmitidos, e pela amizade e disponibilidade demonstradas.

Aos colaboradores da Organização Missanga em Camabatela pelo apoio prestado, em especial ao Eng.º Luís Pedroso e à Sr.ª Vanessa Cândido.

Ao Frei Justino e ao Padre da Paróquia da Missão de Camabatela pelo apoio e carinho prestado.

Aos colaboradores da MonteAdriano no Huambo, em especial ao Flávio, à Marta e ao Kananga, pela realização dos ensaios laboratoriais realizados nesta tese.

À Eng.ª Elsa e ao Sr. Raúl do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro pela paciência e pelo apoio no ensaio de gotejamento.

À minha família, em especial às minhas irmãs, ao meu filho e sobrinhos, pelo incassável apoio incondicional e pela confiança depositada nesta dissertação de Mestrado.

À minha noiva Suzana Capitia pelo amor, carinho, paciência, apoio e dedicação total nesta tese em todos os momentos, bons e menos bons.

À mãe Gabriela, pela amizade e confiança depositada.

A Deus pela saúde, força, persistência e fé.

A todos expresse a minha grande gratidão.

Palavras-chave

Construção em terra, Blocos de adobe, Angola, Camabatela, Huambo, Patologias em construções de adobe, Caracterização física e mecânica

Resumo

O presente trabalho tem como principal objectivo caracterizar o adobe da região de Camabatela (Norte de Angola), visando melhorar as construções em adobe. Este estudo surge associado à construção de uma escola em Camabatela da Missão Católica. Pretende-se que as conclusões alcançadas tenham aplicações nas construções a realizar na região envolta à escola, nos arredores de toda a Vila e no país em geral.

O trabalho desenvolvido nesta pesquisa teve como base a informação recebida de alguns populares e a recolha de solos mais usados na região para a produção de blocos de adobes, após uma visita técnica a Camabatela.

Para enriquecer a pesquisa, também se utilizou outro solo de uma região do Centro e Sul de Angola (Huambo) diferente de Camabatela, e com recurso a ensaios laboratoriais sobre as amostras de solo recolhidas, foi possível caracterizar os solos, recorrendo à análise granulométrica e aos índices de consistência dos mesmos.

Foram também desenvolvidos ensaios de caracterização física e mecânica de cubos de adobes produzidos com os solos de Camabatela e Huambo, com o objectivo de analisar os seus comportamentos mecânicos. Os ensaios realizados foram de compressão simples.

Também se abordou o comportamento de blocos de adobes produzidos com solo de Huambo na presença da água. Foi, segundo o Método de Geelong, baseado em normas Neozelandesas e Australianas, que permitiu avaliar a resistência à erosão dos adobes pela água da chuva, assim como identificar solos inadequados para uso nas construções em adobe (terra crua).

Apresentam-se ainda as patologias mais frequentes nas construções em adobe existentes em Camabatela, com base em registo fotográfico e breve descrição, apresentando algumas medidas técnicas para evitar tais anomalias.

Keywords

Earth construction, Adobe blocks, Angola, Camabatela, Huambo, Pathologies in adobe construction, Physical and mechanical characterization

Abstract

The main goal of the following dissertation is to characterize the adobe of the Camabatela region in North of Angola in order to improve the construction in adobe. This study is associated to the construction of a school in Camabatela of the Catholic Mission. It is supposed that the obtained conclusions are applied in the constructions made in the region surrounding the school, in the outskirts of the villa and generally in the country.

The work done in this research was based on information received by some locals and the gathering of the most used soils in the region for the production of adobe blocks, after a technical visit to Camabatela.

In order to enrich the research, it was also used another soil from the Middle – South Angola (Huambo) different from Camabatela as well as lab essays related to the gathered soil samples. It was possible to characterize the soils by a granulométrica analysis and by the consistence of their contents.

It was also developed physical and mechanical characterization essays of adobe cubes produced by the soils of Camabatela and Huambo with the aim to analyze their mechanical behavior. The essays were of easy comprehension.

An approach to the behavior of the blocks of adobes produced with the soil of Huambo in the presence of water was also done. According to the Geelong Method, it was based in New Zealander and Australian norms, which enabled the assessment of the resistance to the erosion of the adobes due to rain waters, as well as the identification of inadequate soils in adobe constructions (raw earth).

It is portrayed the frequently used pathologies in adobe construction in Camabatela, based in photography and in a brief description, presenting a few technical measures in order to avoid anomalies.

ÍNDICE GERAL

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

1.1 – Introdução	1
1.2 – Objectivos	3
1.3 – Organização da dissertação	3

CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE

2.1 – Introdução	5
2.2 – O Adobe	7
2.3 – História da construção em adobe no mundo	12
2.4 – Construção de adobe em Angola	15
2.5 – Construções de adobe em Camabatela.....	18

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DE CAMABATELA E HUAMBO USADOS NA PRODUÇÃO DE ADOBES

3.1 – Introdução	23
3.2 – Ensaios de caracterização granulométrica	25
3.2.1 – Objectivo dos ensaios	25
3.2.2 – Descrição geral dos ensaios.....	26
3.3 – Resultados dos ensaios dos solos	28
3.4 – Ensaios para determinação dos limites de consistência dos solos	31
3.4.1 – Objectivo dos ensaios	31
3.4.2 – Descrição geral dos ensaios.....	32

3.4.2.1 – Determinação dos limites de liquidez	32
3.4.2.2 – Determinação dos limites de plasticidade	35
3.5 – Resultados	36
3.5.1 – Solo A	36
3.5.2 – Solo B	36
3.5.3 – Solo C	38
3.5.4 – Solo D	40
3.5.5 – Plasticidade e consistência dos solos estudados	42
3.6 – Conclusões	42

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS ADOBES PRODUZIDOS COM SOLOS DE CAMABATELA E HUAMBO

4.1 – Introdução	45
4.2 – Produção dos adobes	46
4.3 – Ensaios de determinação da densidade e da resistência à compressão dos adobes	50
4.3.1 – Objectivo dos ensaios	50
4.3.2 – Descrição geral dos ensaios	50
4.3.2.1 – Determinação da densidade dos adobes	50
4.3.2.2 – Determinação da resistência à compressão dos adobes	51
4.4 – Resultados	53
4.4.1 – Provetes com Solo A	53
4.4.2 – Provetes com Solo B	55
4.4.3 – Provetes com Solo C	57
4.4.4 – Provetes com Solo D	58
4.5 – Conclusões	61

CAPÍTULO 5 – COMPORTAMENTO DE BLOCOS DE ADOBE PRODUZIDOS COM SOLO DE HUAMBO NA PRESENÇA DA ÁGUA

5.1 – Introdução	63
5.2 – Ensaio de durabilidade pelo método de Geelong	63
5.2.1 – Objectivo dos ensaios	63
5.2.2 – Descrição geral dos ensaios.....	64
5.2.3 – Resultados	65
5.2.4 – Conclusões.....	65

CAPÍTULO 6 – IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS PATOLOGIAS MAIS FREQUENTES NAS CONSTRUÇÕES DE ADOBE EM CAMABATELA

6.1 – Introdução	69
6.2 – Principais agentes de degradação.....	69
6.3 – Patologias mais frequentes e outros problemas associados às construções em Camabatela.....	72
6.3.1 – Cobertura	72
6.3.2 – Beirais.....	73
6.3.3 – Capilaridade.....	73
6.3.4 – Fundações	74
6.3.5 – Retracção	74
6.3.6 – Padieiras	75
6.3.7 – Outros problemas	77
6.4 – Medidas para evitar as patologias nas construções de adobe em Camabatela.....	78

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E POSSÍVEIS TRABALHOS FUTUROS

7.1 – Conclusões	79
7.2 – Considerações finais	80
7.3 – Possíveis trabalhos futuros.....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1: Moldes de adobes típicos. Vários tamanhos e configurações usados em diferentes partes do Mundo	11
Figura 2: Formas utilizadas por Faria: a) Forma para um adobe ou dois meios; b) Forma para quatro adobes	12
Figura 3: Arg-é Bam, a maior construção em adobe do mundo	13
Figura 4: Muralha da China.....	14
Figura 5: Mesquita de Djénné	14
Figura 6: Aldeia à beira da estrada, Província de Malange – Angola (esq.); Forma utilizada no fabrico de adobe (dir.) ..	16
Figura 7: Aldeias construídas no âmbito do programa de autoconstrução dirigida,	17
Figura 8: Tipologia da habitação de adobe de Camabatela	20
Figura 9: Cobertura de duas águas em palha (esq.); Cobertura de uma água em chapa de zinco (dir.).....	20
Figura 10: Jango rebocado com terra crua (esq.); Parede rebocada com terra crua e pintada na Missão (dir)	20
Figura 11: Adobes utilizados na construção da Escola na Missão de Camabatela	21

CAPÍTULO 3

Figura 12: Posicionamento da Vila de Camabatela e Huambo	24
Figura 13: Solo A (esq.) e Solo B (dir.) utilizados na produção de adobes em cubos	27
Figura 14: Solo C utilizado na produção de adobes em cubos	27
Figura 15: Solo D utilizado na produção de adobes em cubos	27
Figura 16: Curvas granulométricas dos solos	31
Figura 17: Aparelho de Arthur Casagrande.....	34
Figura 18: Curva do limite de liquidez do solo B.....	37
Figura 19: Curva do limite de liquidez do solo C.....	39
Figura 20: Curva do limite de liquidez do solo D.....	40
Figura 21: Carta de plasticidade de Casagrande.....	42

CAPÍTULO 4

Figura 22: Cubos de 15cm, utilizados na produção de adobes no laboratório	47
Figura 23: Provetes produzidos a partir de solos de Camabatela.....	47
Figura 24: Cubos de 15cm só de terra: Solo A (1 e 2), Solo B (10) e Solo C (14 e 15)	48
Figura 25: Cubos de 15cm traço 1:10: Solo A (3 e 4), Solo B (11 e 12) e Solo C (16 e 17)	48
Figura 26: Cubos de 10cm traço 1:10: Solo A (5 e 6)	48
Figura 27: Cubos de 15cm traço 1:5: Solo A (7), Solo B (13) e Solo C (18)	49
Figura 28: Cubos produzidos com solo do Huambo.....	49

Figura 29: Forma de medição das dimensões dos adobes.....	51
Figura 30: Máquina utilizada no ensaio de compressão simples	52
Figura 31: Balança utilizada para pesar os provetes	52
Figura 32: Estufa utilizada para secar as amostras dos diferentes solos	52
Figura 33: Ensaio de caracterização mecânica dos provetes.....	53

CAPÍTULO 5

Figura 34: Medição da altura (40 cm) a aplicar no ensaio	64
Figura 35: Dispositivo utilizado para o ensaio de erosão pelo método de Geelong.....	64
Figura 36: Erosão: a) Erosão causada pelo impacto das gotas; b) Penetração da água no interior do cubo	66

CAPÍTULO 6

Figura 37: Coberturas de Camabatela: a) Cobertura de 4 águas; b) Cobertura de 2 águas; c) Cobertura de 1 água	72
Figura 38: Comprimento mínimo do beiral	73
Figura 39: Separação entre adobes devido à retracção da argamassa	74
Figura 40: Destacamento do reboco devido à retracção da argamassa	75
Figura 41: Padieira com alguma deformação devido ao excessivo comprimento do vão	76
Figura 42: Entregas insuficientes originando rotura do material	76
Figura 43: Dimensões indicadas para paredes e vãos	77

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 1: Peso das amostras com as respectivas fracções	28
Tabela 2: Cálculo da curva granulométrica do solo A	29
Tabela 3: Cálculo da curva granulométrica do solo B.....	29
Tabela 4: Cálculo da curva granulométrica do solo C.....	30
Tabela 5: Cálculo da curva granulométrica do solo D	30
Tabela 6: Cálculo do limite de liquidez do solo B	37
Tabela 7: Cálculo do limite de plasticidade do solo B	38
Tabela 8: Cálculo do limite de liquidez do solo C	38
Tabela 9: Cálculo do limite de plasticidade do solo C	39
Tabela 10: Cálculo do Limite de liquidez do solo D.....	40
Tabela 11: Cálculo do limite de plasticidade do solo D.....	41
Tabela 12: Valores dos limites de liquidez, de plasticidade e dos índices de plasticidade dos solos	41

CAPÍTULO 4

Tabela 13: Solos utilizados na pesquisa	45
Tabela 14: Composição dos provetes produzidos com solo A	54
Tabela 15: Resultados da densidade e da resistência à compressão do solo A.....	55
Tabela 16: Composição dos provetes produzidos com solo B	56
Tabela 17: Resultados da densidade e da resistência à compressão do solo B	56
Tabela 18: Composição dos provetes produzidos com do solo C	57
Tabela 19: Resultados da densidade e da resistência à compressão do solo C.....	58
Tabela 20: Composição dos provetes produzidos com do solo D	59
Tabela 21: Resultados da densidade e da resistência à compressão do solo D.....	60
Tabela 22: Valor médio da densidade	61
Tabela 23: Valor médio da resistência à compressão	61
Tabela 24: Resistência à compressão dos diferentes corpos-de-prova em relação à do cubo 7,5cm.....	62

CAPÍTULO 5

Tabela 25: Resultados dos ensaios.....	65
Tabela 26: Índice de erodibilidade para o ensaio de erosão pelo método de Geelong.....	66
Tabela 27: Índice de erodibilidade para o adobe n.º 26 (só terra)	66
Tabela 28: Interpretação do ensaio de erosão pelo método de Geelong	67

NOMENCLATURA

$\rho_{ap\ C}$	Densidade do cubo seco
a	Largura do cubo
b	Comprimento do cubo
f_c	Resistência à compressão em cubos
F_{rup}	Carga de rotura em compressão
FAO	Organização para Agricultura e Alimentação da ONU
h	Altura do cubo
H	Teor de humidade
IP	Índice de plasticidade
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
NP	Não plástico
ONU	Organização das Nações Unidas
P_a	Peso da água
P_s	Peso do solo seco
P_1	Peso do recipiente
P_2	Peso do recipiente + solo húmido
P_3	Peso do recipiente + solo seco
SW	Areia bem graduada
SM	Areia siltosa
SC	Areia argilosa

USDA Ministério da Agricultura dos EUA

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO, OBJECTIVOS E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

1.1 – Introdução

Angola é o quarto maior país do continente Africano, abrangendo uma área aproximada de 1.246.700km². Situa-se entre as latitudes 4°22' S e 18°03' S ao longo da costa ocidental de África, limita-se a Norte com a República Democrática do Congo, a Sul com a Namíbia, a Leste com a Zâmbia e a Oeste com o Oceano Atlântico. A costa litoral da nação abrange mais de 1.650km, com uma Zona Económica Exclusiva (ZEE) que abrange 200 milhas náuticas da linha da costa. O país é caracterizado por grande variação topográfica: uma planície estreita ao longo da costa eleva-se abruptamente para um vasto planalto interior. O ponto mais alto no país é o Morro do Moco, na Província do Huambo, com uma elevação de 2.620m. As condições climáticas são grandemente influenciadas pela altitude, longitude e impacto oceânico. A estação seca vai de meados de Maio a Setembro, e a estação da chuva de Outubro a meados de Maio (MAUAA, 2007).

Angola foi subjugada a uma guerra civil de quase três décadas, que infligiu um impacto profundo em todos os aspectos da vida social e económica. Muitos Angolanos sucumbiram de causas relacionadas ao conflito, com cerca de quatro milhões de pessoas deslocados. O desenvolvimento rápido e desordenado de grandes bairros de lata e casas de adobes à volta de centros urbanos durante a guerra, colocou grande pressão nos serviços básicos e de habitação (MAUAA, 2007).

Após este longo período de guerra actualmente vive-se uma paz fruto da recente eleição democrática e do desenvolvimento crescente do País.

No País vê-se agora uma crescente necessidade de satisfação das necessidades básicas da população como é caso da habitação. A par das construções deixadas pelos colonos, já se desenvolviam em diversas regiões do País construções em terra crua (adobe). Em todas as Províncias de Angola são notórias as construções adobe nos arredores e periferias das grandes cidades do enorme País (MAUAA, 2007).

As construções em terra crua são especialmente feitas em adobe fruto da experiência e do “saber fazer” que foi transmitida de geração a geração. Vê-se agora a necessidade de aliar o saber deixado pelos nossos antepassados às novas tecnologias de construção para maior durabilidade das nossas construções (MAUAA, 2007).

A falta de acesso à tecnologia, ao conhecimento e aos bens materiais, especialmente aos materiais de construção, e, para que a população em geral possa adquirir moradia adequada, com conforto e espaço, torna-se necessário uma solução que se sustente na própria comunidade, uma solução sustentada (MAUAA, 2007).

Adoptando-se os princípios da sustentabilidade, como por exemplo, pensar globalmente e agir localmente, integrando-se os saberes tradicionais e académicos ou científicos, essa solução pode buscar as condições locais, tais como: material, mão-de-obra e saber local (Oliveira, 2003).

Dessa forma e respectivamente à construção, temos uma solução em que pode ser a utilização de materiais da região, não sobrecarregados por fabricações complicadas, além do emprego de mão-de-obra não especializada (Oliveira, 2003).

Por conseguinte, uma matéria-prima presente em todo o país é a terra, que, juntamente com as fibras naturais (que também podem ser encontradas localmente) e a água, pode compor um material que responde a essas condições de sustentabilidade (MAUAA, 2007).

As recentes inovações tecnológicas aplicadas na construção de casas em terra podem ser aplicadas em Angola, onde a matéria-prima adequada as construções é muito abundante.

A introdução de técnicas inovadoras pode desfazer preconceitos em relação a este tipo de construção e promover a sua utilização no mercado da habitação e construção do país (MAUAA, 2007).

Angola é um país com excelentes condições para a utilização da construção em terra, pelo seu clima e pela sua abundante matéria-prima. As inovações neste tipo de construção consistem, sobretudo, no desenvolvimento de soluções de estabilização do solo que trazem melhorias significativas em termos de durabilidade, economia, sustentabilidade e estética (MAUAA, 2007).

A estabilização do solo é realizada por diversos meios, como por exemplo, pela mistura de terra com outros materiais como o cimento, a cal, pozolanas e cinzas volantes e adições, em pequenas quantidades, de alguns aditivos de origem material (Oliveira, 2003).

Com estas especificações é possível obter um material de construção mais durável, pelas suas maiores resistências à água, a bactérias e fungos e pela sua maior resistência mecânica. Tal permite, ainda, reduzir o tempo de cura do material e obter um aspecto mais adaptado às actuais exigências sociais (Oliveira, 2003).

É de referir, que a introdução desta tecnologia pode mudar a compreensão desajustada de que o uso da terra na construção está ligado à pobreza, acentuando que se estima que

metade da população do globo (três biliões de pessoas) viva em construções de terra crua, realizadas através de diversas tecnologias no mundo inteiro (MAUAA, 2007).

1.2 – Objectivos

Esta dissertação constitui parte integrante do “Projecto Construção com Formação” e este, por sua vez, do “Programa de Acção Educação Integrada para a Missão dos Capuchinhos de Camabatela – Província do Kwanza Norte, Angola”. O projecto a ser desenvolvido insere-se no estudo da caracterização do adobe da região de Camabatela, mais precisamente na área da Missão, com o intuito de melhorar o fabrico do mesmos para posteriormente aplicá-lo na construção da Escola da Missão, em que procura abordar a realidade escolar de uma forma integral, inserida na comunidade envolvente. Por outro lado, o projecto pretende munir a comunidade de técnicas e cuidados a ter em conta na produção de adobes, promovendo assim a auto-suficiência, sustentabilidade e a construção com alguma qualidade e garantir durabilidade dessas construções.

Pretende-se com esta pesquisa, munir à população de conhecimentos que resultem na melhoria de técnicas construtivas em adobe, fazendo o uso de mão-de-obra e materiais locais. O recurso à alvenaria de adobe nas construções da Vila de Camabatela constitui prática corrente dos seus habitantes no dia-a-dia.

O principal objectivo deste trabalho consiste na caracterização dos solos e determinação das propriedades físicas e mecânicas dos adobes da região de Camabatela, e através desta, prever o comportamento estrutural e térmico, a resistência, a durabilidade, comodidade e segurança geral das construções em terra crua naquela região.

1.3 – Organização da dissertação

A presente dissertação está organizada em sete Capítulos com diversos pontos e secções. Neste primeiro Capítulo é apresentada uma introdução, seguindo-se a apresentação dos objectivos deste trabalho.

No Capítulo 2 é feita uma exposição dos dados históricos do adobe e das construções em adobe, começando por uma primeira abordagem da caracterização do adobe e das

construções em adobe no Mundo, passando pela apresentação da história das construções em adobe em Angola e pormenorizando a região de Camabatela.

No Capítulo 3 é focado os procedimentos e resultados de dois protocolos experimentais de caracterização de três tipos diferentes de solos da Vila de Camabatela e um da região do Huambo, nomeadamente a análise granulométrica e os índices de consistência ou Atterberg.

No Capítulo 4 é salientado um estudo assente em protocolos experimentais regulamentados, em que a base do estudo foi a caracterização física e mecânica dos adobes produzidos em cubos (10 e 15 cm) a partir de solos de Camabatela e Huambo. Este estudo permitiu verificar a resistência à compressão bem como a carga de rotura dos diferentes cubos produzidos no laboratório.

No Capítulo 5 é referido os procedimentos e resultados de um protocolo experimental em que a base do estudo incide-se sobre o comportamento de blocos de terra crua na presença da água produzidos a partir do solo do Huambo (Centro e Sul de Angola). Este estudo permitiu verificar o índice de erodibilidade dos cubos produzidos para melhor perceber a erosão.

O Capítulo 6 contempla um estudo exaustivo sobre as patologias mais frequentes nas construções em adobe na região de Camabatela, começando por descrever os principais agentes de degradação das construções em terra crua, passando pelas patologias mais comuns nas moradias de adobe e descrevendo algumas soluções que podem ser adoptadas para evitar algumas patologias que surgem nas construções em adobe, nomeadamente disposições construtivas que possam limitar a acção da água nas habitações, o papel desempenhado pelos revestimentos de paredes, entre outros. Por outro lado, apresentarei algumas soluções que achei pertinentes para a resolução imediata de algumas patologias que surgem nas construções em adobe na Vila de Camabatela.

Finalmente, o Capítulo 7 apresenta algumas considerações finais de todo o trabalho realizado e desenvolvido nesta Tese de Mestrado, apresentando as conclusões e algumas limitações encontradas no trabalho e sugerindo alguns trabalhos para desenvolvimento futuro relativamente à caracterização de adobes de Angola, bem como a construção com blocos de terra crua naquela região de África, melhorando assim as construções que afecta uma grande parte da população.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE

2.1 – Introdução

A construção em terra, tal como o nome indica, é uma construção cuja principal matéria é a terra. É uma arte tradicionalmente feita pelos mestres “artesãos”, encarregue de transmitir os conhecimentos de geração em geração (Arouca, 2006). Desde que o homem começou a construir casas e cidades, há mais de 10.000 anos, a terra foi, sem dúvida, um dos materiais de construção de uso mais generalizado e para os mais diversos fins (Rocha, 2005).

Na tradição de construir com terra, de acordo com Rocha (2005), conhecemos hoje numerosos métodos, com uma diversidade de variantes que traduzem a identidade dos lugares e das culturas que os desenvolveram. Construir com terra significa construir com um material presente em quase praticamente em toda a parte do globo. A terra é passível de utilização como material de construção, segundo duas formas básicas: crua ou cozida. A terra crua implica, por exemplo, uma série de economias de energias: pouco ou nenhum transporte porque a terra a utilizar pode, na maioria dos casos, ser a do próprio local da obra e não sujeita a processo de transformação industrial. A terra cozida é essencialmente composta por argila arenosa, rica em silico-aluminosos que a cozedura estabilizará: o fogo a que é submetida produz-lhe uma transformação irreversível. Trata-se, assim, de dois materiais diferentes, não tanto pela origem como pela sua composição e natureza mas sobretudo pelo processo de transformação (Rocha, 2005). As técnicas de construção que utilizam terra crua (adobe) como material de construção obtêm diferentes denominações. Os materiais predominantes são o barro (argila), areia e agregados. Quando se trata de terra argilosa feita à mão emprega-se a denominação de bloco de barro ou adobe (unidades modulares de terra crua, secas ao sol), quando se trata de blocos comprimidos denominam-se BTC (Blocos de Terra Comprimidos), quando extraídos em uma olaria e não cozidos emprega-se o termo tijolo cru. Outra técnica de construção em terra é a taipa (terra prensada dentro de cofragem). A taipa é utilizada nas paredes exteriores e mestras. Consiste na compressão da terra com maços ou meios mecânicos, dentro de uma cofragem denominada taipal, o que origina blocos mais sólidos do que o betão. Estes, quando justapostos, constituem a construção propriamente dita (Arouca, 2006).

Segundo dados da Organização das Nações Unidas (ONU), pela primeira vez na história, a maioria da população do planeta vive em cidades, esta marca foi alcançada no ano de 2006 (Borges, 2007).

A urbanização acelerada e caótica ameaça a qualidade de vida de bilhões de pessoas que sofrem com a poluição do ar e das águas, o trânsito engarrafado, a produção monumental do lixo, a especulação imobiliária, os musseques entre outros problemas (MAUAA, 2007).

Devido aos grandes custos financeiros e energéticos de técnicas de materiais industrializados, como o concreto e outros, a demanda habitacional no mundo só pode ser suprida utilizando materiais locais e técnicas de autoconstrução. Mesmo uma pequena habitação incorpora grandes quantidades de materiais (Borges, 2007).

Hoje em dia um terço da população mundial vive em moradias de adobe, em países em desenvolvimento isto representa mais de metade (Borges, 2007).

A terra é o material de construção natural mais importante e abundante na maioria das regiões do mundo (UFSC, 2007).

A construção em terra é um conhecimento vernacular, e as técnicas existentes são as mais variadas, existindo as mais puramente tradicionais como outras reinterpretadas ou mesmo desenvolvidas para uma adequação maior aos nossos dias. Por muito tempo, essas técnicas foram consideradas pobres, de qualidade inferior e negligenciadas como uma solução construtiva de qualidade (UFSC, 2007). Parte disso vem do facto de que muitas vezes essas técnicas não eram bem aplicadas, o que pode vir a acontecer com qualquer outra técnica. A falta de informação e o preconceito com o assunto intensificaram esse tipo de falha. Felizmente o cenário actual está a mudar e existem actualmente estudiosos especializados que desenvolveram pesquisas a esse respeito e que afirmam que as técnicas vernaculares, como as construções em terra, possuem possibilidades vantajosa. Estas iniciativas, por enquanto, são desenvolvidas academicamente e profissionalmente por poucas pessoas. Um dos exemplos mais marcantes em Angola é o projecto “construção com formação” coordenado pela ONG portuguesa “Organização Missanga” em parceria com a Vice - Província angolana da ordem dos Frades Menores Capuchinhos, na Missão de Camabatela e com a Universidade de Aveiro, com o intuito de elaborar um projecto para a construção de novas instalações escolares que satisfaçam as necessidades actuais (OM, 2006).

O estudo do adobe não se pode limitar a um trabalho essencialmente teórico, de revisão de literatura e de suposições e conclusões teóricas. Ele deve se estender à prática, à

aplicação é este o verdadeiro sentido deste trabalho: trazer ao campo científico a necessidade de pesquisas no campo prático, de protocolos experimentais que possam contribuir à comunidade da Vila de Camabatela conhecimentos técnicos e específico para as suas construções e, principalmente, estender a dimensão de cultura, de conhecimento e de sabedoria que estão guardados nas comunidades tradicionais à comunidade acadêmica em geral (O.M., 2006).

2.2 – O Adobe

O adobe é considerado um dos antecedentes históricos do tijolo de barro e o seu processo construtivo é uma forma rudimentar de alvenaria. Designa-se por adobe o pequeno bloco de forma regular de argamassa de terra, amassado com areia e palha, cortado em forma de tijolo e seco ao sol (Jones, 2008).

É dos mais antigos materiais de construção amplamente utilizado nas civilizações do Antigo Egito e Mesopotâmia. Provavelmente a técnica de construção com terra mais conhecida seja o adobe. A terra apropriada para usar na construção é aquela que geralmente fica abaixo dos 50 cm. Acima disto na camada superficial, encontramos normalmente, a chamada terra vegetal que contém matéria orgânica em decomposição e microrganismos. Esta não é própria para a construção, pois se torna frágil quando seca e além disto compromete a salubridade dos ambientes (Jones, 2008).

Dependendo da técnica utilizada, a mistura da argamassa deve ser mais seca ou mais húmida. A terra crua deve ser a mistura deste solo com água e, por vezes, podem ser utilizados certos adjuvantes. A proporção correcta de areia e argila, normalmente fica em torno de 1:1 até 2:1. Proporções menores deixam a massa muito mole e a argila começa a ficar sem aderência. Uma combinação que proporciona uma argila estável e densa é adicionar grãos, fibras, capim, palha, folhas secas e limpas à mistura. Estes aditivos estabilizam a massa e ligam internamente as moléculas de areia e solo (Jones, 2008).

Outra forma de criar misturas estáveis é adicionar cimento, cal e/ou cinzas que proporcionam uma união mais resistente e mais durável (Jones, 2008).

Uma terceira opção é adicionar óleos vegetais, látex, seivas e/ou betume asfáltico. Assim, a mistura torna-se mais impermeável e com menos água fica mais resistente às intempéries (Jones, 2008).

É essencial que a mistura, independente de qual for, seja bem amassada e peneirada para adquirir uma forma bem homogênea. Deve repousar à sombra aproximadamente por dois dias antes de ser novamente misturada e com água cria-se uma ligação plástica. Em seguida, leva-se a mistura para as formas, que podem ser de madeira, metal ou plástico resistente. O importante no modelo é que no final, o bloco de terra crua ideal deva ter o comprimento duas vezes maior que a largura. Mesmo assim, outras dimensões podem ser confeccionadas, mas tornam-se padrões especiais e requerem mais atenção com a mistura e no processo de secagem (Jones, 2008).

A argila já com certa consistência deve ser despejada na forma e preencher por igual todos os cantos. A plasticidade da ligação deve estar concisa e alguns minutos após encher, o bloco de terra crua já retirado da forma não deve parecer borracha (Jones, 2008).

O adobe também não deve destruir-se, não deve ter as suas arestas fragmentadas e/ou afundamentos nas faces. Assim, após ser retirado da forma, este deve ser posto para secar, o ideal é antes de começar esta etapa, alisar as faces com uma espátula. Logo que o adobe é retirado da forma, convém lavar a mesma forma para utilizar novamente. Os resíduos, quando secos, acabam por comprometer a formação de novos blocos. O processo de secagem dos adobes dependem das condições climáticas do local. Quando feito em tempo quente e seco, completa o ciclo mais rápido e melhor. Também é necessário avaliar o tipo de mistura e a quantidade de água contida nela. Na primeira fase desta etapa, é bom que os blocos de terra crua fiquem expostos directamente ao sol, por ser o momento crucial onde a maior parte da humidade é retirada. Sempre manuseados com cuidado, é ideal que repousem sobre suportes de madeira limpa, pois essa absorve um pouco da água ao contacto com o bloco de terra. Porém, nesta etapa deve-se ter cuidado, pois os adobes por estarem descobertos, estão sujeitos a apanhar chuva. Deve-se analisar neste momento se os blocos não se estão a desfazer. No restante do tempo, os adobes devem descansar à sombra (Jones, 2008).

Em todo o processo, ocasionalmente, os tijolos devem ser virados para secarem homogeneamente evitando deformações e retracções desproporcionais. Por fim, a armazenagem deve ser feita em local seco (Jones, 2008).

De acordo com a UFSC, (2007), o adobe como material de construção possui melhores qualidades que os materiais industrializados, apresentando as seguintes vantagens e desvantagens:

Desvantagens

O adobe não é um material de construção padronizado;

A sua construção depende do lugar onde se extrai, podendo ter diferentes quantidades e tipos de argila, limo, areia e agregados, por isso as suas características podem variar de região para região. Pode variar composição, resistência mecânica, cores, textura e comportamento (UFSC, 2007);

O adobe contrai-se ao secar;

Através da evaporação da água podem aparecer fissuras;

O adobe não é impermeável;

O adobe deve ser protegido contra as chuvas principalmente em estado húmido.

Vantagens:

O adobe regula a humidade ambiente;

O adobe tem a capacidade de absorver e expelir humidade mais rápido e em maiores quantidades que os outros materiais construtivos regulando o clima interior. Experiência feita em laboratórios de construções experimentais na Universidade de Kessal Alemanha demonstram que, quando a humidade relativa do ambiente aumenta subitamente de 50% a 80% os adobes podem absorver 30 vezes mais humidade que os tijolos cozidos (UFSC, 2007);

O adobe armazena calor;

Igualmente aos outros materiais o adobe armazena calor. Em zonas climáticas onde as diferenças de temperaturas são amplas, o adobe pode balancear o clima interior (UFSC, 2007);

O adobe economiza energia e diminui a contaminação ambiental;

O adobe praticamente não produz degradação ambiental em relação a outros materiais de uso frequente (UFSC, 2007).

O adobe é reutilizável;

O adobe cru pode ser usado ilimitadamente, só precisa ser triturado e humedecido com água para ser reutilizado (UFSC, 2007);

O adobe é apropriado para a autoconstrução;

As técnicas de construção com adobe podem ser executadas por pessoas não especializadas (UFSC, 2007);

O adobe preserva a madeira e outros materiais orgânicos;

O adobe mantém secos os elementos de madeira e preserva-os quando estão em contacto directo (UFSC, 2007).

O adobe absorve contaminantes;

Tem-se dito muitas vezes que o adobe contribui na purificação do ar;

A construção em terra possui um forte potencial ecológico. Para além de usar apenas materiais biodegradáveis, permite a rentabilização de energia no interior das habitações. Estas construções podem vir a ser a alternativa do futuro para reduzir drasticamente o elevado consumo de energia para o aquecimento e arrefecimento doméstico, as emissões de clorofluorcarbonatos (CFC), assim como os entulhos como o betão (EPDS, 2006).

Estas razões justificam sem dúvida, a utilização da terra nas suas variadas formas para a construção e daí o enorme interesse no estudo dessas técnicas: a consciência de que a arquitectura em terra é mais ecológica e menos dispendiosa na produção de obras inovadoras e de grande qualidade e conforto; a noção de que muitos sítios arqueológicos, designados seguidamente como sendo arquitectura em terra (UFSC, 2007).

As dimensões empregadas para a produção artesanal de adobes são bem variadas. Ortega (1983) refere-se a 29 x 9 x 9 cm e 30 x 15 x 15 cm usados em Benin, África. Milanez (1958) cita adobes de 40 x 20 x 10 cm com 12,6 kg e 25 x 12 x 8 cm com 2,5 kg. No México, as medidas usuais são 38 x 38 x 8 cm e 39 x 18 x 18 cm e 40 x 20 x 15 cm, como cita Williams-Ellis e Eastwick-Field (1950). Rodrigues (1980) define 30 x 15 x 15 cm, o arquitecto egípcio Hassan Fathy (1980) indica 25 x 15 x 6 cm. Lavinsky *et al.*, (1998) usaram formas dos tamanhos 23 x 11 x 7 cm e 23 x 11 x 10 cm em pesquisa desenvolvida no CEPLAC (Centro de Pesquisas do Cacau em Itabuna).

Velloso *et al.*, (1985) alertaram para a importância da origem mineralógica do material fino componente da mistura de solo. A argila mineral é responsável pelo grau de expansibilidade do solo. Argilas com alto teor de óxido de ferro e baixo caulínico tendem a ser pouco expansivas.

Observando essas características no material de solo evita-se, assim, o fenómeno de retracção, que pode contribuir para o aparecimento de trincas e micro fissuras durante o processo de cura. Pacheco e Dias Júnior (1990), determinaram a retracção linear para os solos em estudo em seu estado natural e corrigidos com areia, utilizando o método descrito por Enteich e Augusto (1963).

Quanto ao acréscimo de fibras na mistura, há divergências. Neumann *et al.*, (1984), em estudo da resistência à compressão, com palha na mistura em quantidades ideais, afirmaram que a mesma controla a microfissuração. Já Milanez (1958) descarta sua utilização, definindo como ineficaz, em razão do apodrecimento do material com o tempo, o que promove a formação de canaliculos, diminuindo a resistência dos tijolos de terra crua. Freires e Ramirez-Sarmiento (1997) utilizaram fibras de bagaço de cana-de-açúcar

desmeduladas mecanicamente, natural e tratadas quimicamente com silicato de sódio combinado com sulfato de alumínio, misturadas à argamassa de cimento e areia. Observaram que a resistência à compressão simples do compósito foi reduzida com o aumento do teor de fibras na mistura e que o tratamento químico aumentou significativamente a resistência mecânica do material obtido.

Inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos com a mistura dos mais diversos estabilizantes como cimento, cloreto de cálcio, borra de carbureto, cinzas de bagaço de cana e outros, no mundo inteiro.

Pretende-se assim com esta pesquisa determinar as características físicas e mecânicas nas diferentes granulometrias e composições dos solos escolhidos na Vila de Camabatela, analisando a estabilização com areia, humidade ideal, tamanhos, procedimentos na produção, resistências à compressão, densidade, tendo como suporte variáveis acessórias, como peso, volume, peso específico e humidade, com a finalidade de confeccionar adobes de melhor qualidade.

McHenry (1984) apresenta uma série de formas dos mais variados tamanhos, desde as menores, com a possibilidade de produção de apenas um tijolo, até às maiores, que possibilitam a produção de até 16 unidades de blocos de terra crua (Figura 1). A vantagem de uma forma grande é, sem dúvida, a produção de uma grande quantidade de adobes de uma só vez, entretanto, há também a desvantagem, que consiste na possibilidade de diminuir a qualidade do mesmo, visto que a forma deve ser colocada em terreno o mais nivelado e homogêneo possível, para que o adobe não tenha imperfeições. Entretanto, um grande número de adobes produzidos em formas, requer uma preparação mais cuidadosa do solo que uma forma de tamanho menor (McHenry, 1984).

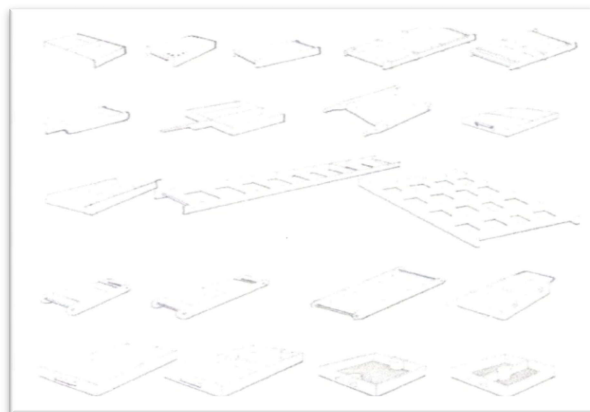


Figura 1: Moldes de adobes típicos. Vários tamanhos e configurações usados em diferentes partes do Mundo (CRATerre in McHenry, 1984)

Faria (2002), propôs e executou no seu trabalho para a tese de doutoramento, uma forma que possibilita a produção de um adobe ou, alternativamente, dois meios adobes, com uma ranhura, próprios para serem utilizados na ligação entre paredes e colunas de madeira (Figura 2a). Ele propõe também uma segunda forma para quatro tijolos (Figura 2b), o que vem a reduzir o esforço físico do operário, melhorando o seu rendimento e trabalho, bem como a qualidade no acabamento superficial do bloco de terra crua. Além disso, Faria faz o uso de material menos aderente como por exemplo, chapa de compensado de madeira plastificado, e sem fundo, além disso, também passa óleo no interior da forma para o melhor desmolde do bloco de adobe.

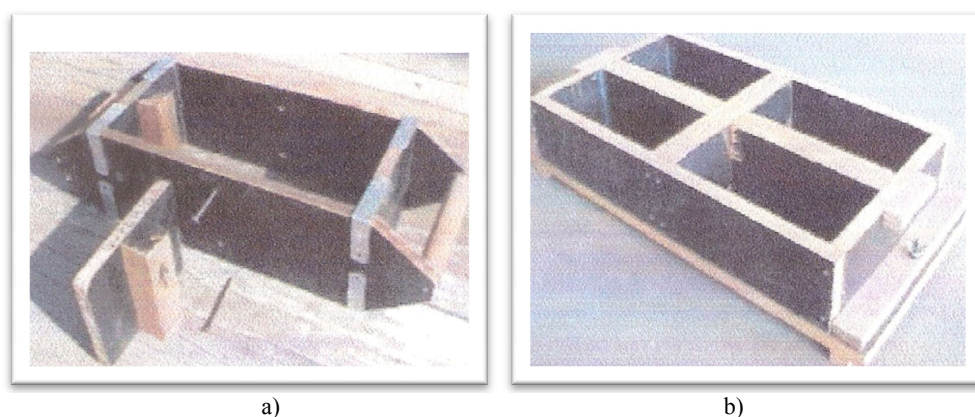


Figura 2: Formas utilizadas por Faria: a) Forma para um adobe ou dois meios; b) Forma para quatro adobes (Farias, 2002)

Em Camabatela usam formas de tamanho com comprimento 39cm, largura 20cm e altura 18cm. As formas são confeccionadas em madeira com modelo rectangular. Como na Vila de Camabatela não tinham laboratório para fazer ensaios deste género, a fase experimental foi efectuada no laboratório de solos da empresa portuguesa Monte Adriano na cidade do Huambo, onde produziu-se adobes em cubos de (10 e 15 cm) respectivamente, podendo assim realizar ensaios de compressão no mesmo laboratório.

2.3 – História da construção em adobe no mundo

A invenção da construção em terra é tão natural, quanto o acto de uma criança fazer um castelo de areia. Tentar saber portanto onde nasceu a construção de terra é quase como tentar saber onde nasceu o homem (EPDS, 2006). De acordo com Oliveira (2005), num dos mais antigos textos consultados, a Bíblia (Bíblia, 1999), são encontradas referências a tijolos em oito capítulos os seus seis livros, tanto de tijolos de barro cozidos, como de

tijolos de terra crua, com utilização de palha (fibra vegetal) e amassados com os pés. É difícil precisar a data, mas, por se tratar de livros do Antigo Testamento, conclui-se que se situam antes da era cristã (Oliveira, 2005).

As técnicas de construção em adobe datam de mais de 900 anos atrás. No Turquemenistão foi descoberto moradias de terra do período de 8000 a 6000 a.C. Na Síria, foi encontrado chão de terra pisada (taipa) que datam de 5000 a.C. (UFSC, 2007). Todas as culturas antigas utilizaram a terra como material de construção não só em moradias como também em fortalezas e em obras religiosas (Oliveira, 2005).



Figura 3: Arg-é Bam, a maior construção em adobe do mundo (Wikipédia, 2009)

A antiga cidade de Arg- é Bam (Figura 3), em Bam, cidade da Província Kerman no Sudoeste do Irão é a maior construção em adobe do mundo, construída 500 a.C. e habitada até 1850, considerada Património Mundial pela UNESCO. A cidadela sofreu um terramoto em 2003 que destruiu quase na totalidade, actualmente está sendo reconstruída. No Egito há mais de 3000 anos muitas construções foram feitas em adobe. A grande Muralha da China (Figura 4) foi construída há 4000 anos, inicialmente foi toda com taipa, e posteriormente foi enchapada com pedras naturais e ladrilhos, dando uma aparência de muralha de pedra. O centro da Pirâmide do Sol em Teotihuacan, México, é constituído por 2 milhões de toneladas de terra pisada e foi construído entre os anos 300 e 900 (UFSC, 2007).



Figura 4: Muralha da China (JSolomon, 2008)

Um dos pontos altos da arquitectura Africana é certamente a grande Mesquita de Djénné (Figura 5), Mali. A Mesquita foi erguida no início do século 20 e é considerada a maior construção em adobe de África. Em 1988, a UNESCO declarou o centro histórico Djénné e a sua Mesquita como património da Humanidade (Barbieri, 2007).



Figura 5: Mesquita de Djénné (Order Fine Art Print, 2008)

A partir da preocupação com a conservação do Património Arquitectónico a nível mundial, percebeu-se a necessidade de estabelecer conceitos e critérios para tal, que resultaram em recomendações. Essas recomendações suscitou a seguinte questão: Como conservar ou restaurar técnicas cujas práticas estão a desaparecer? Em função dessa situação instituições como a UNESCO, ICCROM (International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property) e outras, investiram na formação de mão-de-obra especializada visando a recuperação desses conhecimentos. Um dos programas com mais resultados positivos foi o Projecto Arquitectura de Terra – PAT, que

durante anos capacitou e formou técnicos de vários lugares do planeta com o objectivo de credenciar o uso da Arquitectura de Terra (UFSC, 2007).

Terra crua é a designação genérica que se dá aos materiais de construção produzidos com solo, porém, sem passar pelo processo de queima. Por extensão, é empregada a denominação de arquitectura de terra a toda a produção arquitectónica cujo principal material empregado seja a terra crua (UFSC, 2007).

Cada povo, com suas peculiaridades culturais, condições ambientais e características do solo disponível, em função das necessidades de abrigo, desenvolveu as suas técnicas construtivas. Estas técnicas guardam muitas semelhanças de uma região para outra (UFSC, 2007).

2.4 – Construção de adobe em Angola

A colonização portuguesa em Angola deixou-nos uma herança cultural extremamente rica. Entre a vasta herança Lusitana, estão as variadas técnicas construtivas, de tradição multissecular. As características arquitectónicas marcantes, legado do período colonial, com elementos neoclássicos, art-deco e modernista, entre essas muitas utilizaram terra e foram largamente aplicadas em todo o território nacional (MAUAA, 2007).

Em Angola, assim como em algumas partes do mundo, as construções em terra ainda têm a conotação de uma arquitectura pobre, um exemplo disso é a visão das pessoas de que a casa de adobe deve ser substituída por uma casa de material mais nobre. As construções em adobe são visíveis em quase todas as províncias principalmente nos bairros da periferia das grandes cidades, municípios e aldeias (Figura 6). O adobe é um material de construção usado milenarmente em diversas partes do mundo, sendo, portanto, um material tradicional. Além disso, os materiais necessários para a sua produção (terra, fibra natural e água) podem ser encontrados localmente; a energia utilizada em sua manufactura é quase nula; e a mão-de-obra empregada pode ter pouca especialização, tornando o adobe material apropriado do ponto de vista da sustentabilidade. Os adobes são feitos de terra crua, água e palha, moldados em formas e colocados no chão. Posteriormente são deixados a secar ao sol até estarem prontos para serem utilizados. O trabalho envolve toda a família, numa calma animação, desde os mais novos aos mais velhos (Colibri, 2008).



Figura 6: Aldeia à beira da estrada, Província de Malange – Angola (esq.); Forma utilizada no fabrico de adobe (dir.) (Colibri, 2008)

Actualmente vêm-se reconhecendo que a crescente necessidade habitacional da população não pode ser resolvida usando materiais industrializados, devido a falta de capacidade de produção local e dos meios económicos requeridos. A única solução mais favorável é utilizar materiais naturais locais, mão-de-obra e ferramentas apropriadas (MAUAA, 2007).

De acordo com MAUAA (2007), o Governo Angolano desenvolveu uma política de descentralização, que em 2007 foi apresentada como uma estratégia de apoio à descentralização para acelerar a operacionalização da política. Segundo esta política de descentralização, foram estabelecidos 18 governos provinciais com direcções a nível provincial dos vários ministérios de execução. Nas Províncias foi implementado o programa de autoconstrução dirigida, onde é fornecido à população kits compostos por dois baldes plásticos, martelo, prego, 25 chapas de zinco, uma mesa plástica e quatro cadeiras, uma lanterna, um candeeiro e um carro de mão. Com estas ferramentas, a população está a construir as suas casas em adobe (Figura 7a e Figura 7b).



a)



b)
Figura 7: Aldeias construídas no âmbito do programa de autoconstrução dirigida, Província do Huambo no ano de 2000: a) Casseque; b) Longonjo

Os desafios que Angola atravessa actualmente, em termos de carência habitacional, em muitos aspectos deficiente, sobretudo em termos de infra-estruturas para fabrico dos materiais de construção, em termos energéticos e de sustentabilidade há muito que vem acordando preocupações aos governantes locais. As áreas urbanas recentes compostas por bairros, onde a infra-estrutura urbana praticamente não existe, forçando os habitantes a encontrar soluções individuais para fazer frente à falta de redes técnicas. Assim, a rede de água é substituída por cacimbas e fontenários comunitários e a rede de energia eléctrica por geradores, sem ainda encontrar soluções alternativas e acessíveis para as outras infra-estruturas (MAUAA, 2007).

Notamos, finalmente, que o adobe, principalmente por ser um material tradicional, do saber local, pode ser utilizado principalmente adaptando-se a sua técnica, aperfeiçoando e se associando a outros materiais para potencializar o seu uso, qualificando ainda mais a edificação construída com alvenaria de adobe em Angola (MAUAA, 2007).

Para isso, é necessário, antes de se iniciar uma construção com adobe (bloco de terra crua), o estudo da área em que se vai construir, compreendendo:

A caracterização do solo, para a correcção do mesmo para o uso na construção e a escolha da forma de estabilização do solo, se por cimentação, armação, impermeabilização, ou tratamento químico (MAUAA, 2007);

O estudo das espécies vegetais nativas, para se escolher, por exemplo, qual a fibra vegetal local que se vai adicionar à terra para a composição do adobe; os períodos climáticos, para adequar o tempo de construção com as estações climáticas da região em que se vai trabalhar, a área de trabalho para a escolha do melhor local para a olaria e para a implantação das edificações (MAUAA, 2007).

Actualmente o conhecimento científico e técnico vem dando os seus frutos, desde logo, porque já se demonstrou que a técnica de construção com terra, traz um excelente conforto interno e evita grandes extorsões ao meio ambiente. Construir com adobe pode representar uma alternativa formidável aos tijolos cerâmicos convencionais quando levamos em consideração o facto da necessidade de diminuir o consumo de energia e desperdício de material (MAUAA, 2007).

A valorização da técnica de construção em terra crua, tem de passar do conhecimento científico e técnico para a fase de execução, porque a maioria dos problemas que afastam a opção de construir em terra crua deve-se, não só às características do material, mas antes à sua fraca divulgação e ausência de uma estrutura de mercado que ofereça mão-de-obra competente e competitiva (MAUAA, 2007).

Dessa forma, respectivamente à construção em adobe, temos uma solução que pode ser a utilização de materiais da área local, não sobrecarregados por manufacturas complicadas, além do emprego de mão-de-obra não especializada e local (MAUAA, 2007).

Por conseguinte, uma matéria-prima presente em todo o país é a terra, que, juntamente com as fibras naturais, que também podem ser encontradas localmente, e a água, pode compor um material que responde a essas condições de sustentabilidade, não só para a Vila de Camabatela, mas também para o País em geral.

2.5 – Construções de adobe em Camabatela

A Vila de Camabatela é a sede do Município de Ambaca, Província do Kwanza Norte e fica situada no planalto de Ambaca, habitat tradicional do povo Jinga (grupo etnolinguístico Quimbundo), onde a distribuição da população é bastante irregular, a par de zonas rarefeitas ou de largos espaços desabitados encontram-se outras de marcada incidência populacional (OM, 2006).

O Município de Ambaca situa-se no extremo norte da província do Kwanza Norte, cuja capital é N'Dalatando. A Província do Kwanza Norte está situada na região centro-norte do país, com uma área de mais de 20 mil km² e uma população estimada em 500 mil habitantes. Faz fronteira a oeste com o Bengo, a norte com o Uíje, a leste com Malange e a sul com o Kwanza Sul. O clima é de tipo tropical húmido, com pluviosidade anual média superior a 1500mm, concentrada, sobretudo, entre os meses de Outubro e Abril. Em termos médios, a temperatura máxima anual é de 27°C a 28°C no tempo chuvoso e a mínima de

16°C a 17°C no tempo seco, a humidade relativa do ar varia entre 75% e 80%. A região tem uma predominância em coberto vegetal de savana (OM, 2006).

Globalmente, nesta zona “predominam os Solos Fracamente Ferrálicos de texturas médias a finas, avermelhados e amarelos. Estes solos estão principalmente relacionados com formações do Xisto-Gresoso.

São frequentes os Solos Ferralíticos Típicos, de texturas finas, avermelhados, que se relacionam com o Xisto-Calcário” – caso da sub-zona de Camabatela: “Solos Ferralíticos Típicos, vermelhos e argilosos, por vezes com um estrato de materiais detríticos que englobam laterite. Nos vales aprofundados da orla limítrofe podem ocorrer Solos Paraferalíticos (Tipoparaferalíticos, Eutroparaferalíticos e com menos frequência Braquiparaferalíticos).”

“São pouco frequentes os Solos Psamoferrálicos, que ocupam cúpulas recobertas por areias do Kalahari. Solos delgados sobre laterites e/ou cascalheiras ocorrem em algumas cúpulas, nomeadamente nas áreas do "Alto Lucala" e do "Cateco e Calandula". Solos Hidromórficos e Solos Aluvionais ocupam expressivas faixas ao longo de alguns rios” (OM, 2006).

A construção em alvenaria de adobe constitui a técnica construtiva mais utilizada na região de Camabatela (Varum, H. *et al.*, 2008). Verifica-se (como, aliás, um pouco por todo o país), as populações recorrem principalmente à construção das suas habitações com materiais disponíveis localmente, através de técnicas simples, que representam a única forma de conseguirem suportar os custos da construção. Este modo de proceder é, de todos, o mais sustentável, pois implica uma mobilização de energia mínima face aos outros; desde que observados determinados procedimentos, tanto na construção, como na manutenção, é possível desta forma conseguir uma construção de qualidade e durabilidade superiores. Contudo, a construção mais comum é muito simplificada, observando-se, muitas vezes, que se limita ao levantamento das paredes em alvenaria, por vezes muito tosca, sobre fundações com elevada capacidade de absorção de humidade, sem revestimento e com cobertura totalmente inadequada (OM, 2006).

Na habitação tradicional da região de Camabatela, a planta caracteriza-se por uma forma rectangular simples. Em geral, é composta unicamente por um piso. No que respeita a tipologia da planta da região caracteriza-se por uma habitação pobre, constituída por um ou dois compartimentos, em geral (Figura 8).



Figura 8: Tipologia da habitação de adobe de Camabatela

Quanto à análise morfológica a maior parte das habitações apresentam tendência horizontal, com poucas aberturas, uma só porta, ou uma porta e uma janela, respectivamente. As escassas janelas existentes não têm vidros, nem aros. Normalmente não se utiliza chaminé, uma vez que a cozinha é feita fora da habitação num compartimento construído fora. A cobertura tem uma ou duas águas e são pouco inclinadas (Figura 9), são compostas por capim) u chapas de zinco pousadas directamente em ripas de madeira. Os pavimentos em geral são de terra batida. Algumas casas usam reboco, outras não. O reboco é feito de terra, mas actualmente alguns habitantes utilizam o reboco de terra misturado com cimento e cal (Figura 10).



Figura 9: Coberturas de duas águas em palha (esq.); Cobertura de uma água em chapa de zinco (dir.)



Figura 10: Jango rebocado com terra crua (esq.); Parede rebocada com terra crua e pintada : na Missão
de Camabatela (dir.)

Tradicionalmente em Camabatela os adobes são fabricados com terra + capim + água. A água é colocada a olho e o capim é cortado em pedaços pequenos. A dimensão dos adobes varia entre os 18 x 40 (cm) a 20 x 40 (cm) (Figura 11). As fundações geralmente são de 40cm de profundidade, as paredes simples e o adobe é colocado na transversal.



Figura 11: Adobes utilizados na construção da escola na Missão de Camabatela

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DE CAMABATELA E HUAMBO USADOS NA PRODUÇÃO DE ADOBES

3.1 – Introdução

A terra é formada por partículas de argila, silte e areia. A argila (partícula mais fina) tem a propriedade de contrair-se, ou seja, sofre considerável variação volumétrica com a redução do seu teor de humidade. Apresenta também o fenómeno de tixotropia (Caputo, 1978). Esse fenómeno é caracterizado pela capacidade que um solo argiloso, com muitas partículas coloidais (fracção mais fina da argila) tem de adquirir para maior resistência (Caputo, 1978). A areia é o componente inerte do solo, constituindo suas partículas de maiores dimensões. De acordo com Tango (2000), o seu inchamento crítico (em torno de 30% do volume) dá-se para teores de humidade próximos a 8%, bem baixos dos usuais para a produção de adobe (unidades acima de 30%). A areia apresenta maior resistência à compressão que a argila, no entanto, a argila pode funcionar como elemento aglutinante das partículas de areia, semelhante ao que ocorre entre o cimento e os agregados (brita e areia) no concreto (Oliveira 2005). O silte é a partícula intermediária entre a argila e a areia, com características mais próximas de uma ou de outra, dependendo das dimensões predominantes dos grãos (Oliveira, 2005).

Entende-se por rocha todo o material resultante de um dado processo geológico, que apresenta para cada espécie seus componentes e que se distingue dos solos por não se desagregar. Quando as partículas de solo estão depositadas junto da rocha que lhe deu origem, o solo designa-se por residual ou eluvial, se as partículas são transportadas para zonas bastantes afastadas do local de origem por acção do vento, da água etc., nesse caso o solo designa-se por “transportado” (Correia, 1980).

Embora estes sejam os dois grandes grupos em que se costumam dividir os solos, uma classificação mais precisa e de maior aplicação são os propósitos do trabalho desenvolvido nesta Dissertação.

Para o melhor conhecimento do solo a usar nas construções em adobe, é necessário efectuar a sua caracterização (granulometria e consistência), isto é, através de ensaios de laboratório ou pela identificação aproximada do solo no campo (Correia, 1980).

Na presente dissertação realizou-se ensaios de laboratório para melhor conhecimento sobre o comportamento e características dos solos das regiões de Camabatela e Huambo (Figura 12), nomeadamente, estudo da composição granulométrica dos diferentes tipos de solos bem como os Limites de Consistência ou de Atterberg.



Figura 12: Posicionamento da Vila de Camabatela e Huambo (Adaptado de UN, 2004)

Na província do Huambo existem vários subgêneros e combinações de solos de gêneros Arenosols e Ferralsols de acordo com o sistema da FAO ou seja Entisols, Ultisols e Oxisols. De acordo com o sistema da USDA, dependendo das características detalhadas de horizontes, por exemplo Ferralic arenosols, Gleyic arenosols, Acric ferralsol – são solos predominante tipo arenosols e ferralsols mas de várias outras características detalhadas como regime de humidade, características mineralógicas e presença de certos horizontes específicos para a localidade (CEAPB, 2005).

O clima da região caracteriza-se por uma significativa oscilação seja entre o dia e a noite ou seja entre as estações do ano. A temperatura média anual é inferior a 20 graus, sendo os meses mais quentes Setembro e Outubro e o mais frio Julho, podendo atingir 10 graus, havendo no entanto registos de 5 Graus. A precipitação média anual na província é de 1250 a 1500 mm, com a estação das chuvas ocorrendo entre Outubro e Abril, isso determina uma humidade relativa média anual de 60% e 70% (CEAPB, 2005).

Com estas características as construções em terra crua (adobe) só são feitas nos meses de Junho a Setembro, meses onde não há ocorrência de pluviosidade e permite a secagem do

adobe e da própria construção. Apesar das condições climáticas as habitações em adobe têm uma certa durabilidade (CEAPB, 2005).

As construções em adobe proporciona o sistema de autoconstrução de base familiar, podendo ser facilmente reproduzida pela comunidade, além disso, a utilização do adobe na construção mostra-se como um factor de afirmação cultural, portanto de inclusão da comunidade que o está utilizando dentro de uma prática, prática esta que se estende à identidade deste povo na sua região e, ainda, de integração da edificação com a paisagem natural (CEAPB, 2005).

Com o crescimento da população, a demanda habitacional é de momento a maior preocupação dos governantes locais, mas vê-se um abandono das construções em adobe nos bairros da periferia da cidade, em detrimento do bloco de cimento. O aumento do poder de compra da população constitui um dos factores que está a levar ao abandono das construções em adobe, como a velha história em que as construções em terra são sinónimo de pobreza (CEAPB, 2005).

3.2 – Ensaios de caracterização granulométrica

3.2.1 – Objectivo dos ensaios

A composição granulométrica ideal da mistura de solo para o adobe é de quantidades de argila e silte entre 9 e 3% em peso, segundo Velloso *et al.*, (1985). Martinez (1979) define 20% de argila e 40 a 55% de areia. Alves (1985) considera argila menor que 20% e areia superior a 45%. Já Hernandez *et al.*, (1983) define a percentagem ideal de areia para os adobes próxima de 50%, silte 30% e argila 20%. Portanto é fundamental que o solo seja analisado por meio de testes de campo e laboratório para verificar a necessidade ou não da correcção granulométrica com areia.

A determinação da composição granulométrica de um solo, expressa pela respectiva curva granulométrica, é essencial para a previsão das características fundamentais do seu comportamento (UC, 2008).

Este ensaio teve como objectivo comparar as características granulométricas dos solos das regiões do Huambo e Camabatela e, verificar se as diferenças entre as características

granulométricas dos solos advém apenas da origem do solo (rocha mãe) ou das condições climáticas que o solo está sujeita.

Este estudo vai permitir enriquecer os conhecimentos acerca dos diferentes solos existentes nas duas regiões de Angola (Norte e Centro-Sul).

A avaliação da composição granulométrica de um solo segundo o procedimento exposto em UC (2008) requer, em geral, a utilização conjugada das seguintes técnicas experimentais:

1. Peneiração, em que se procede à separação mecânica, através de peneiros, das partículas do solo de maiores dimensões (superiores a 0,074 mm);
2. Sedimentação, em que através do estudo do processo de sedimentação das partículas mais finas do solo em suspensão, se estabelece a sua dimensão de forma indirecta, utilizando a lei de Stokes.

O ensaio de análise granulométrica a realizar na presente tese tem como principal objectivo determinar a composição granulométrica de três diferentes solos da Vila de Camabatela e um solo do Huambo.

Para tal, utilizou-se a especificação E 239 (1970) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que destina-se a fixar o modo de determinar quantitativamente a distribuição por tamanho das partículas de um solo retiradas no peneiro de 0,074mm (n.º 200) ASTM e a percentagem do material passada no mesmo peneiro.

3.2.2 – Descrição geral dos ensaios

Para a realização deste ensaio, usou-se três tipos de solos (A, B e C) da região de Camabatela e um solo (D) da região do Huambo, escolhidos pelas suas características visuais, conforme ilustrado nas Figuras 13, 14 e 15 respectivamente, utilizando a especificação E 239 (1970) do LNEC.



Figura 13: Solo A (esq.) e Solo B (dir.), utilizados na produção de adobes em cubos



Figura 14: Solo C, utilizado na produção de adobes em cubos



Figura 15: Solo D, utilizado na produção de adobes em cubos

Para a realização deste ensaio seguiu-se os passos abaixo descritos:

1. Secagem das amostras em estufa (100°C);
2. Pesagem das amostras;
3. Lavagem das amostras;
4. Secagem das amostras em estufa (100°C);
5. Peneiração das amostras, através de peneiros de malha de abertura superior a 2.00mm, o material grosso seco na estufa, começando pelo peneiro de malha mais larga;
6. Determinação das massas das fracções retidas em cada peneiro com a balança.

3.3 – Resultados dos ensaios dos solos

Os resultados experimentais devem ser cuidadosamente analisados e verificados a fim de detectar qualquer erro evidente, podendo a observação dos registos de descrição dos ensaios, nomeadamente dos aspectos na altura considerados mais relevantes, ser esclarecedora, evitando assim erros.

Na Tabela 1 serão apresentados os resultados dos pesos das amostras de solos com as respectivas fracções.

Tabela 1: Peso das amostras com as respectivas fracções

Solo	Peso total da amostra (g)	Peso da fracção> # 3/4" (g)	Peso da fracção< # 3/4" (g)	Peso da fracção> # n.º 4 (g)	Peso da fracção< # n.º 4 (g)
A	1037,0		1037,0	215,0	822,0
B	874,0		874,0	64,9	809,1
C	1016,0		1016,0	86,0	930,0
D	1673,2	84,9	1588,3	659,7	1013,5

Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 serão apresentados os resultados do cálculo das curvas granulométricas dos Solos A, B, C e D, respectivamente.

Tabela 2: Cálculo da curva granulométrica do solo A

Peneiro		Material retido	Material retido	Material acumulado	Material acumulado
(mm)	n.º	(g)	% retida	% retida	% passada
100,0	4				100,0
75,0	3				100,0
63,0	2 1/2				100,0
50,0	2				100,0
37,5	1 1/2				100,0
25,0					100,0
19,1	3/4				100,0
12,5	1/2				100,0
9,5	3/8				100,0
4,8	4	215,0	20,7	20,7	79,3
2,00	10	228,0	22,0	42,7	57,3
0,850	20	200,0	19,3	62,0	38,0
0,425	40	237,0	22,9	84,9	15,1
0,250	60	35,8	3,5	88,3	11,7
0,106	140	49,0	4,7	93,0	7,0
0,075	200	24,0	2,3	95,4	4,6
<0,075	<200	48,2	4,6	100,0	0,0

Tabela 3: Cálculo da Curva granulométrica do solo B

Peneiro		Material retido	Material retido	Material acumulado	Material acumulado
(mm)	n.º	(g)	% retida	% retida	% passada
100,0	4				100,0
75,0	3				100,0
63,0	2 1/2				100,0
50,0	2				100,0
37,5	1 1/2				100,0
25,0					100,0
19,1	3/4				100,0
12,5	1/2				100,0
9,5	3/8				100,0
4,8	4	64,9	7,4	7,4	92,6
2,00	10	68,0	7,8	15,2	84,8
0,850	20	150,0	17,2	32,4	67,6
0,425	40	167,0	19,1	51,5	48,5
0,250	60	76,0	8,7	60,2	39,8
0,106	140	129,0	14,8	74,9	25,1
0,075	200	60,0	6,9	81,8	18,2
<0,075	<200	159,1	18,2	100,0	0,0

Tabela 4: Cálculo da Curva granulométrica do solo C

Peneiro		Material retido	Material retido	Material acumulado	Material acumulado
(mm)	n.º	(g)	% retida	% retida	% passada
100,0	4				100,0
75,0	3				100,0
63,0	2 1/2				100,0
50,0	2				100,0
37,5	1 1/2				100,0
25,0					100,0
19,1	3/4				100,0
12,5	1/2				100,0
9,5	3/8	17,0	1,7	1,7	98,3
4,8	4	69,0	6,8	8,5	91,5
2,00	10	65,0	6,4	14,9	85,1
0,850	20	150,0	14,8	29,6	70,4
0,425	40	146,0	14,4	44,0	56,0
0,250	60	76,0	7,5	51,5	48,5
0,106	140	69,0	6,8	58,3	41,7
0,075	200	23,0	2,3	60,5	39,5
<0,075	<200	401,0	39,5	100,0	

Tabela 5: Cálculo da Curva granulométrica do solo D

Peneiro		Material retido	Material retido	Material acumulado	Material acumulado
(mm)	n.º	(g)	% retida	% retida	% passada
150	150				100,0
100,0	4				100,0
75,0	3				100,0
63,0	2 1/2				100,0
50,0	2				100,0
37,5	1 1/2				100,0
25,0					100,0
19,1	3/4	84,9	5,1	5,1	94,9
12,5	1/2	190,4	11,4	16,5	83,5
9,5	3/8	129,6	7,7	24,2	75,8
4,8	4	254,8	15,2	39,4	60,6
2,00	10	193,4	11,6	51,0	49,0
0,425	40	443,6	26,5	77,5	22,5
0,250	60	57,9	3,5	81,0	19,0
0,106	140	98,1	5,9	86,8	13,2
0,075	200	58,5	3,5	90,3	9,7
<0,075	<200	162,0	9,7	100,0	

Na Figura 16 serão apresentados as curvas granulométricas dos solos, resultantes da respectiva caracterização.

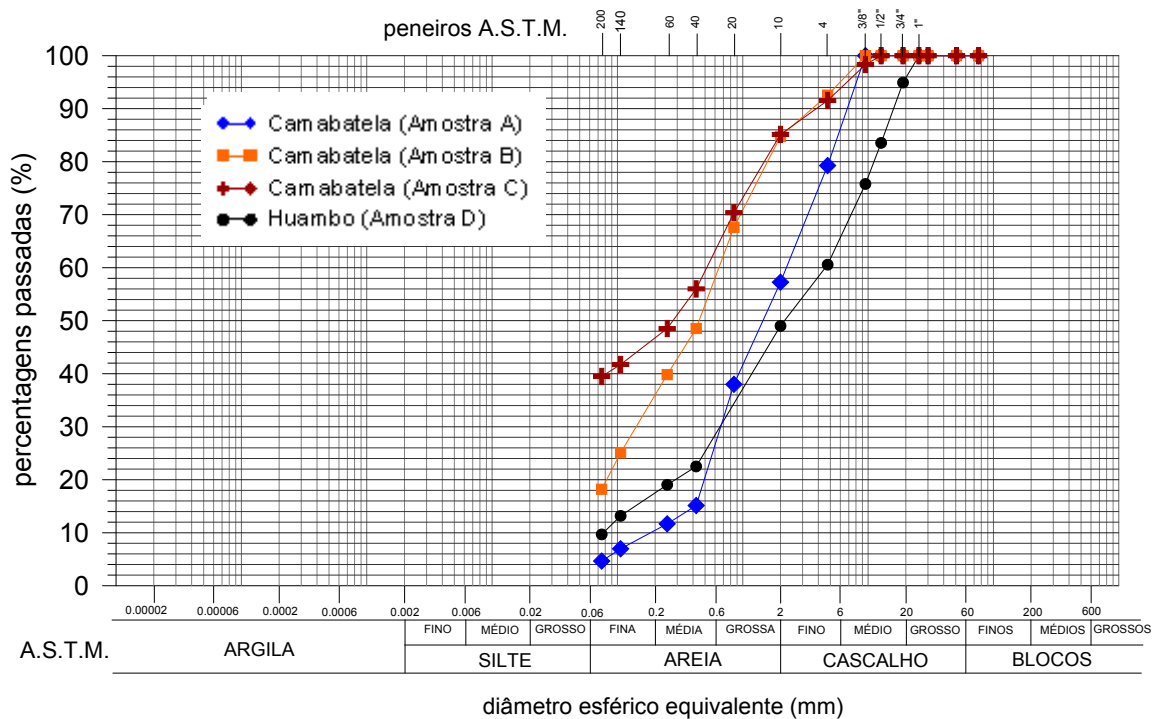


Figura 16: Curvas granulométricas dos solos

3.4 – Ensaios para determinação dos limites de consistência dos solos

3.4.1 – Objectivo dos ensaios

Um dos fundamentais factores condicionantes na qualidade e segurança das construções em adobe é a escolha apropriada da matéria-prima (Varum *et al.*, 2007). Com o objectivo de conhecer a composição e o comportamento dos solos tipicamente usados na construção em Camabatela em particular na construção da escola de Camabatela, foram levados a cabo ensaios com a finalidade de caracterizar os adobes produzidos localmente bem como o solo utilizados na sua produção.

Este ensaio teve como objectivo determinar os Limites de Liquidez (LL) e Plasticidade (LP) dos solos da região de Camabatela. Após determinação dos limites atrás descritos avaliou-se o Índice de Plasticidade (IP) dos solos.

Para realização destes ensaios, utilizamos a Norma Portuguesa Definitiva NP – 143, que define e fixa os processos de determinar os limites de liquidez, de plasticidade e de retracção de solos para efeitos de Engenharia Civil.

3.4.2 – Descrição geral dos ensaios

3.4.2.1 – Determinação dos limites de liquidez

O solo é o meio físico que serve de suporte, proporciona água, ar e elementos nutritivos às plantas. Ele suporta, de maneira passiva, a passagem das máquinas agrícolas e resiste às forças de tracção dos tractores e à acção dos implementos (Souza *et al.*, 2000). No campo das construções é o meio em que se assentam as estruturas e o material básico das obras de terra (Souza *et al.*, 2000).

Trabalhando com solos, seja para tráfego de máquinas ou construções, é importante caracterizá-lo para que se tenha segurança na execução dessas operações. Solos que apresentam, em sua forma textural, alta percentagem de elementos finos, são muito influenciados pela humidade, além da forma das partículas e da sua composição química e mineralógica, causando grandes variações nas suas propriedades plásticas (Souza *et al.*, 2000). Segundo Oliveira *et al.*, (1997) nessas circunstâncias não basta uma análise granulométrica para caracterizá-los. Caputo (1994) cita que o comportamento plástico do solo depende das características das forças de tensão-deformação a ele imposta, porém esse mesmo autor relata as dificuldades na determinação dessas propriedades.

A consistência do solo é uma das características mais importantes para a engenharia, pois determina o comportamento do solo perante determinadas tensões e deformações (Souza *et al.*, 2000). O grau de consistência do solo exerce considerável influência sobre o regime de água no mesmo, afectando a condutividade hidráulica e permitindo fazer-se inferências sobre a curva de humidade, além de mais, é determinante na resistência do solo à penetração e na

compactação, e seu conhecimento possibilita a determinação do momento adequado do uso de técnicas que favoreçam um bom manuseamento do solo, propiciando melhor conservação do mesmo, além de diminuir a demanda energética nas operações mecanizadas (Souza *et al.*, 2000).

Em 1911 foram definidos, pelo cientista sueco A. Atterberg, certos limites que delimitam o intervalo de consistência do solo, denominados limite de liquidez e de plasticidade (Souza *et al.*, 2000). Tradicionalmente, para a determinação do limite de liquidez o método mais utilizado é aquele padronizado por Arthur Casagrande, que utiliza o aparelho desenvolvido pelo mesmo (Souza *et al.*, 2000).

Baver (1930), já citava a importância dos limites de Atterberg como indicador das propriedades e forças físicas envolvidas em problemas de preparação do solo, atribuindo valor considerável à determinação da consistência do solo, por meio desses limites, ressalta-se que os valores do limite de liquidez e do limite de plasticidade são utilizados para se determinar o índice de plasticidade de um solo (Souza *et al.*, 2000).

Em estudos geotécnicos, a correlação entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, tem grande aplicação em avaliações de solo para uso em fundações, construções de estradas e estruturas para armazenamento e retenção de água (Mbagwu e Abenh, 1998).

Na presente tese foi utilizado o método de Casagrande para determinação dos limites de consistência dos solos recolhidos na região de Camabatela.

Para os fins da presente Norma (Norma Portuguesa Definitiva NP – 143) entende-se por limite de liquidez de uma amostra solo o teor em água correspondente a 25 pancadas, obtido por interpolação numa curva que relaciona o teor em água de cada um de quatro provetes da amostra com o número de pancadas para o qual os bordos inferiores de um sulco aberto num provete se unem numa extensão de 1cm, quando o ensaio é feito na concha de Casagrande.

Casagrande estabeleceu que o limite de liquidez (LL) do solo é o teor de humidade para o qual o sulco se fecha com 25 golpes, sendo este valor obrigatoriamente obtido no gráfico da recta de escoamento. Na Figura 17 está representado o aparelho de Casagrande (UFJF, 2009).



Figura 17: Aparelho de Arthur Casagrande (UFJF, 2009)

Para a realização deste ensaio seguiu-se os passos abaixo descritos:

1. Pesou-se as cápsulas (4 cápsulas);
2. Misturou-se a amostra com água com o auxílio de uma espátula (quantidade de água a olho) até a mesma ficar mais ou menos homogênea e semi-fluída;
3. Colocou-se uma porção desta mistura na cápsula do aparelho de Casagrande sem deixar vazios, de modo que a parte central fique com espessura de aproximadamente 1cm;
4. Centrou-se a peça no meio e efectuou-se um rasgo (com riscador);
5. Girou-se a manivela do aparelho numa velocidade constante. Registou-se o número de pancadas necessárias para que o fundo da fenda se feche numa extensão entre 1,2 e 1,5cm no centro;
6. Retirou-se a amostra da Concha de Casagrande, colocou-se a mesma numa cápsula, pesada anteriormente e levou-se para a estufa (± 24 h) para determinar a humidade;
7. Calculou-se a percentagem de humidade da amostra;
8. Efectuou-se este ensaio para as 4 amostras colocadas nas 4 cápsulas referidas anteriormente.

A percentagem de humidade da amostra foi calcula pela fórmula seguinte:

$$H = P_a / P_s \times 100$$

em que:

$$H = \text{Teor de humidade (\%)}$$

$$P_a = \text{Peso da água (g)}$$

$$P_s = \text{Peso do solo seco (g)}$$

É de referir que em duas amostras as pancadas estiveram no intervalo entre 25 à 40, enquanto nas outras duas amostras estiveram no intervalo entre 10 à 25 pancadas, respectivamente.

O limite de liquidez é representado pelo valor da percentagem da humidade correspondente a 25 pancadas do aparelho de Arthur Casagrande, e o seu resultado deve ser expresso em número inteiro.

3.4.2.2 – Determinação dos limites de plasticidade

Atterberg convencionou que a condição para que uma amostra de solo esteja no estado plástico é a possibilidade de com ela ser possível moldar um cilindro de 10cm de comprimento por 3mm de diâmetro, por rolagem sobre uma placa de vidro, respeitando todos os parâmetros.

De acordo com a Norma Portuguesa Definitiva NP – 143, entende-se por Limite de Plasticidade de uma amostra de um solo a média dos teores em água de quatro provetes da amostra a ensaiar, cada um dos quais é o maior teor em água com que rompe cada provete ao pretender-se transforma-lo num filamento cilíndrico com cerca de 3mm de diâmetro, por rolagem entre a palma da mão e uma placa de vidro. Por outro lado, o Limite de Plasticidade pode ser definido como teor de humidade em que o solo, estando no estado plástico, se perder humidade, passa para o estado semi-sólido.

Para a realização deste ensaio seguiu-se os passos abaixo descritos:

1. Pesou-se as cápsulas (4 cápsulas);
2. Preparou-se uma pasta de solo proveniente da determinação do Limite de Liquidez e formou-se uma bola na palma da mão;
3. Com as mãos, rolou-se esta bola sobre uma lâmina de vidro, até formar um fio (cilindro) de aproximadamente 3 a 4 mm de diâmetro
4. Fez-se rolar três rolos da amostra no vidro até chegar aos 3mm de diâmetro;
5. Colocou-se os três rolos de 3mm de diâmetro da amostra em numa cápsula previamente pesada; Pesou-se a cápsula com os rolos e levou-se para a estufa ($\pm 24h$) para determinar a humidade;

6. Determinou-se o limite de plasticidade do solo;
7. Repetiu-se esta operação para as quatro cápsulas.

O Limite de Plasticidade ou limite plástico inferior, é representado pela percentagem de humidade da amostra.

Após termos determinado os Limites de Liquidez e Plasticidade, calculamos o Índice de Plasticidade dos solos, cujo valor é a diferença entre ambos os limites e cuja expressão é a seguinte:

$$IP = LL - LP (\%)$$

onde: IP = Índice de Plasticidade

LL = Limite de Liquidez

LP = Limite de Plasticidade

3.5 – Resultados

Os resultados dos ensaios serão apresentados sob a forma de tabelas e gráficos nas Secções 3.5.1 a 3.5.4, para os solos A, B, C e D, respectivamente. A preparação da amostra foi após a secagem.

3.5.1 – Solo A

Após realização dos ensaios, constatou-se a não plasticidade do Solo A, isto é, o referido solo é não plástico (NP) – Une por Escorregamento, logo o seu Índice de Plasticidade também será não plástico.

3.5.2 – Solo B

Na Tabela 6 serão apresentados os resultados do cálculo do limite de liquidez do Solo B, cujo estado inicial da amostra ensaiada foi com secagem prévia em estufa.

Tabela 6: Cálculo do limite de liquidez do solo B

	N.º de Ensaio	1	2	3	4
	N.º de recipiente	318	312	370	381
P_1	Peso do recipiente (g)	8,15	8,16	8,19	8,26
P_2	Peso do recip. + Solo húmido (g)	30,61	26,73	31,72	32,01
P_3	Peso do recip. + Solo seco (g)	22,29	20,14	23,59	23,95
$P_a = P_2 - P_3$	Peso da água (g)	8,32	6,59	8,13	8,06
$P_s = P_3 - P_1$	Peso do solo seco (g)	14,14	11,98	15,40	15,69
$H = P_a / P_s \times 100$	Teor de humidade (%)	58,84	55,01	52,79	51,37
	N.º de pancadas	13	22	31	39

Na Figura 18 é apresentado a curva do limite de liquidez do Solo B e o seu respectivo valor, resultante do cálculo efectuado.

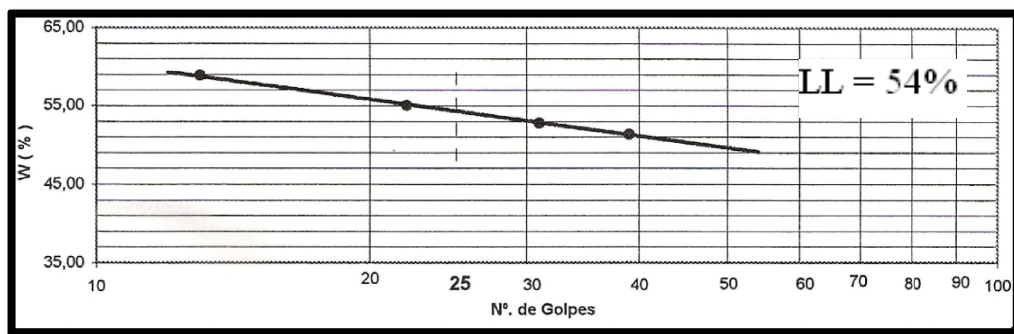


Figura 18: Curva do limite de liquidez do solo B

Na Tabela 7 serão apresentados os resultados do cálculo do limite de plasticidade do Solo B, com o respectivo valor.

Tabela 7: Cálculo do limite de plasticidade do solo B

	N.º de Ensaio	1	2	3	4
	N.º de recipiente	325	316	346	375
P ₁	Peso do recipiente (g)	5,90	5,88	5,92	5,95
P ₂	Peso do recip. + Solo húmido (g)	7,24	6,74	7,25	8,12
P ₃	Peso do recip. + Solo seco (g)	6,85	6,48	6,85	7,47
P _a = P ₂ – P ₃	Peso da água (g)	0,39	0,26	0,40	0,65
P _s = P ₃ – P ₁	Peso do solo seco (g)	0,95	0,60	0,93	1,52
H = P _a / P _s x 100	Teor de humidade (%)	41,05	43,33	43,01	42,76
LP = <u>43%</u>					

Em seguida, apresenta-se o cálculo do Índice de plasticidade do Solo B.

$$IP = LL - LP = 11\%$$

3.5.3 – Solo C

Na Tabela 8 serão apresentados os resultados do cálculo do limite de liquidez do Solo C, cujo estado inicial da amostra ensaiada foi com secagem prévia em estufa.

Tabela 8: Cálculo do limite de liquidez do solo C

	N.º de Ensaio	1	2	3	4
	N.º de recipiente	308	361	342	311
P ₁	Peso do recipiente (g)	8,07	8,20	8,21	8,17
P ₂	Peso do recip. + Solo húmido (g)	30,69	29,43	32,80	30,41
P ₃	Peso do recip. + Solo seco (g)	21,55	21,30	23,63	22,25
P _a = P ₂ – P ₃	Peso da água (g)	9,14	8,13	9,17	8,16
P _s = P ₃ – P ₁	Peso do solo seco (g)	13,48	13,10	15,42	14,08
H = P _a / P _s x 100	Teor de humidade (%)	67,80	62,06	59,47	57,95
	N.º de pancadas	10	19	29	36

Na Figura 19 é apresentado a curva do limite de liquidez do Solo C, com o seu valor, após as 25 pancadas.

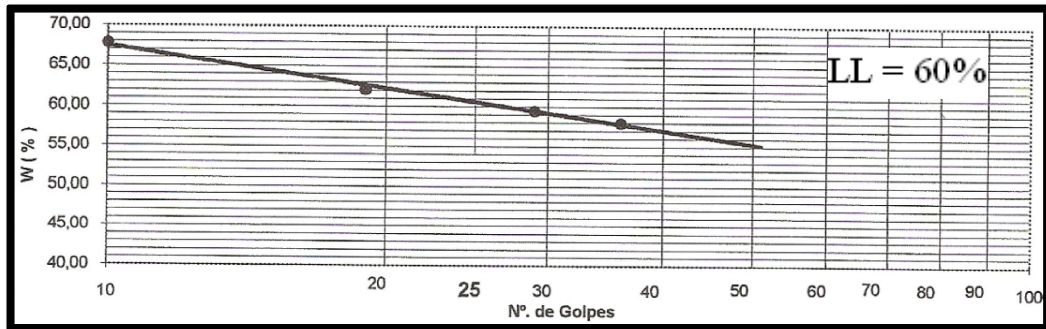


Figura 19: Curva do limite de liquidez do solo C

Na Tabela 9 serão apresentados os resultados do cálculo do limite de plasticidade do Solo C, com o respectivo valor.

Tabela 9: Cálculo do limite de plasticidade do solo C

	N.º de Ensaio	1	2	3	4
	N.º de recipiente	371	375	314	337
P ₁	Peso do recipiente (g)	5,83	5,95	5,93	5,88
P ₂	Peso do recip. + Solo húmido (g)	8,44	9,09	8,04	8,00
P ₃	Peso do recip. + Solo seco (g)	7,52	8,00	7,30	7,24
P _a = P ₂ - P ₃	Peso da água (g)	0,92	1,09	0,74	0,76
P _s = P ₃ - P ₁	Peso do solo seco (g)	1,69	2,05	1,37	1,36
H = P _a / P _s x 100	Teor de humidade (%)	54,44	53,17	54,01	55,88
		LP = <u>54%</u>			

O resultado referente ao cálculo do Índice de Plasticidade do Solo C é apresentado a seguir:

$$IP = LL - LP = 6\%$$

3.5.4 – Solo D

Na Tabela 10 serão apresentados os resultados do cálculo do limite de liquidez do Solo D, cujo estado inicial da amostra ensaiada foi com secagem prévia em estufa.

Tabela 10: Cálculo do limite de liquidez do solo D

N.º de Ensaio		1	2	3	4
	N.º de recipiente	365	340	379	326
P ₁	Peso do recipiente	9,92	8,29	8,23	8,26
P ₂	Peso do recip. + Solo húmido	32,48	35,73	33,38	34,43
P ₃	Peso do recip. + Solo seco	27,32	29,85	28,13	29,05
P _a = P ₂ – P ₃	Peso da água	5,16	5,88	5,25	5,38
P _s = P ₃ – P ₁	Peso do solo seco	17,40	21,56	19,90	20,79
H = P _a / P _s x 100	Teor de humidade	29,66	27,27	26,38	25,88
	N.º de pancadas	10	19	26	34

Na Figura 20 é apresentado a curva do limite de liquidez do Solo D, com o seu valor, após as 25 pancadas.

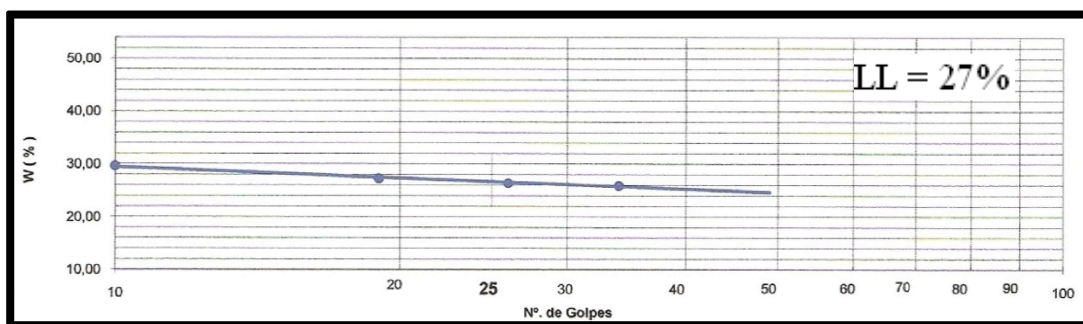


Figura 20: Curva do limite de liquidez do solo D

Na Tabela 11 serão apresentados os resultados do cálculo do limite de plasticidade do Solo D, com o respectivo valor.

Tabela 11: Cálculo do limite de plasticidade do solo D

	N.º de Ensaio	1	2	3	4
	N.º de recipiente	343	331	337	377
P ₁	Peso do recipiente	5,84	5,89	5,88	5,94
P ₂	Peso do recip. + solo húmido	9,43	8,68	9,55	8,86
P ₃	Peso do recip. + solo seco	8,78	8,16	8,90	8,36
P _a = P ₂ – P ₃	Peso da água (g)	0,65	0,52	0,65	0,50
P _s = P ₃ – P ₁	Peso do solo seco (g)	2,94	2,27	3,02	2,42
H = P _a / P _s x 100	Teor de humidade (%)	22,11	22,91	21,52	20,66

LP = 22%

O resultado referente ao cálculo do Índice de Plasticidade do Solo D é apresentado a seguir:

$$IP = LL - LP = 5\%$$

3.5.5 – Plasticidade e consistência dos solos estudados

Na Tabela 12 serão apresentados os valores dos limites de liquidez e plasticidades dos solos B, C e D, bem como os seus índices de plasticidade.

Tabela 12: Valores dos limites de liquidez, de plasticidade e dos índices de plasticidade dos solos

Solo	LL (%)	LP (%)	IP (%)
B	54	43	11
C	60	54	6
D	27	22	5

O solo C apresenta um limite de liquidez mais elevado em relação aos outros, logo possui uma percentagem maior de finos na sua composição.

Na Figura 21 é apresentado a Carta de Plasticidade de Casagrande dos solos estudados na pesquisa.

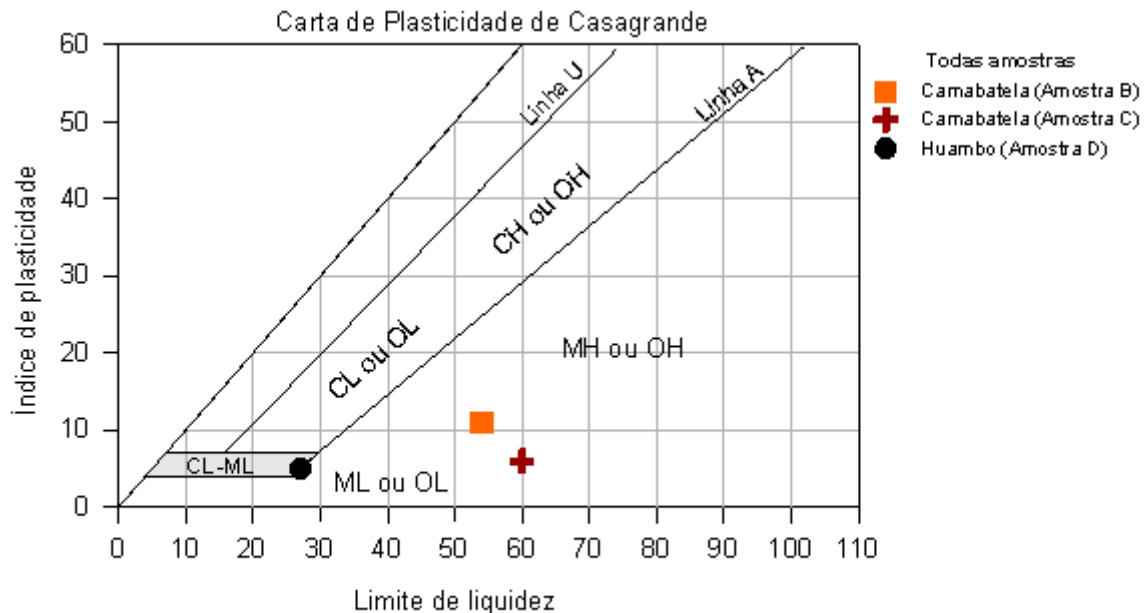


Figura 21: Carta de plasticidade de Casagrande

3.6 – Conclusões

Todo o solo deve ser caracterizado quanto a composição mineralógica, a granulometria e a consistência, para que seja determinada a sua viabilidade para a produção de adobes. Após terminar os ensaios de caracterização granulométrica e dos limites de consistência dos referidos Solos (A, B, C, D), e analisando os resultados baseando-se na Classificação Unificada de Solos (ASTM D 2487-85), concluiu-se o seguinte:

Solo A: SW Areia bem graduada com cascalho;

Solo B: SM Areia siltosa com cascalho;

Solo C: SM Areia siltosa com cascalho;

Solo D: SC-SM Areia silto-argilosa com cascalho.

O Solo C apresenta maior percentagem de finos na sua composição, logo o seu limite de liquidez é maior em relação aos outros solos utilizados na pesquisa.

Baseando-se nos ensaios realizados sobre os quatro tipos de solos, ambos os solos são aceitáveis para o fabrico de adobe, desde que se tenha em conta alguns cuidados para evitar a retracção do mesmo, para posterior aplicação nas construções das zonas estudadas.

CAPÍTULO 4 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA DOS ADOBES PRODUZIDOS COM SOLOS DE CAMABATELA E HUAMBO

4.1 – Introdução

Diante da preocupação actual com construções ecologicamente correctas, eco-vilas e bioarquitectura, o adobe surge como importante opção em edificações de baixo custo, por economizar em transporte, quando a terra adequada encontra-se disponível no próprio local da obra, não requerer mão-de-obra especializada, possuir excelente conforto térmico, e não consumir energia para a sua fabricação (Corrêa *et al.*, 2005).

O consumo de água para a sua produção é sessenta vezes menor que para a do cimento. Não produz vapores contaminantes e não apresenta perigo na sua preparação. No entanto, trata-se de um procedimento artesanal que, dependendo de sua composição em contacto com água, sofre desgaste e erosão (Corrêa *et al.*, 2005).

Considerando o grande déficit habitacional e a busca de materiais não poluentes, renováveis e de baixo custo em contrapartida aos industrializados, que têm muitas vezes alto consumo de energia e são centralizadores, é de fundamental importância que essa tecnologia seja resgatada, porque além de produzir trabalho e cidadania, possibilita a integração do profissional com a comunidade em projectos de auto-construção e parcerias como, por exemplo, a Engenharia Pública (Corrêa *et al.*, 2005).

No âmbito desta dissertação foram levados a cabo ensaios laboratoriais com a finalidade de caracterizar os adobes produzidos utilizando os solos das regiões de Camabatela e Huambo, caracterizados no Capítulo 3 (Tabela 13).

Tabela 13: Solos utilizados na pesquisa

Solo	A	B	C	D
Região	Camabatela	Camabatela	Camabatela	Huambo

Em relação aos blocos de adobe produzidos no laboratório, alguns deles sofreram alguma estabilização nos seus solos, com o objectivo de obter um melhor comportamento mecânico, uma melhor coesão, redução da porosidade e das variações de volume, melhorar a resistência à erosão, reduzir a erosão da superfície bem como o tempo de cura dos adobes. O método de estabilização utilizado nesta pesquisa foi o de adição de cimento e cal.

As características físicas e mecânicas dos adobes produzidos pelo solo do Huambo vai-nos permitir avaliar qual das regiões de Angola estudadas apresenta melhor solo para a produção de adobes e qual delas apresenta maior resistência mecânica.

A caracterização física dos adobes será dada pela sua Densidade ($\rho_{ap\ C}$), enquanto que a caracterização mecânica dos mesmos será dada pela sua Resistência a Compressão (f_c), baseados nos procedimentos propostos por Neves e Faria (2007).

4.2 – Produção dos adobes

Foram ensaiados dezoito séries de adobes produzidos a partir de solos de Camabatela, consoante o tipo de solo (A, B e C), conforme ilustrado nas Figuras 22-a), 22-b) e 23. Por outro lado, também foram ensaiados sete séries de adobes produzidos a partir do solo do Huambo (Figura 28).

Para os diferentes tipos de solos das duas regiões, produziram-se adobes em cubos (10cm e 15cm) respectivamente, com as seguintes composições:

- Só terra;
- Traço 1:10 (terra: cal aérea);
- Traço 1:5 (terra: cal aérea).

Como o tempo era limitado para a realização deste ensaio, optou-se por substituir 10% da quantidade de cal aérea por cal hidráulica, acelerando assim o tempo de cura que foi até 1 mês e 12 dias (42 dias).



a)



b)

Figura 22: Cubos de 15cm utilizados na produção de adobes no laboratório



Figura 23: Provetes produzidos com solos de Camabatela

Nas Figuras 24, 25, 26 e 27 apresentam-se os diferentes cubos produzidos no laboratório com os solos de Camabatela e traços variados.



Figura 24: Cubos de 15cm só de terra: Solo A (1 e 2), Solo B (10) e Solo C (14 e 15)



Figura 25: Cubos de 15cm traço 1:10: Solo A (3 e 4), Solo B (11 e 12) e Solo C (16 e 17)



Figura 26: Cubos de 10cm traço 1:10: Solo A (5 e 6)



Figura 27: Cubos de 15cm traço 1:5: Solo A (7), Solo B (13) e Solo C (18)



Figura 28: Cubos produzidos com solo de Huambo

4.3 – Ensaio de determinação da densidade e da resistência à compressão dos adobes

4.3.1 – Objectivo dos ensaios

O objectivo destes ensaios é determinar as características físicas e mecânicas (densidade e resistência à compressão) dos diferentes adobes produzidos em cubos de 10 e 15cm respectivamente no laboratório, baseados na metodologia e procedimentos propostos por Neves e Faria (2007).

Por outro lado, o outro objectivo dos ensaios é comparar entre os diferentes tipos de adobes produzidos a partir de solos das regiões de Camabatela e Huambo, com distintos traços utilizados, qual deles apresenta maior resistência à compressão, para poder melhorar as construções típicas daquelas regiões de Angola.

4.3.2 – Descrição geral dos ensaios

4.3.2.1 – Determinação da densidade dos adobes

Em primeiro lugar e para a realização deste ensaio, nos diferentes adobes produzidos a partir dos Solos (A, B, C e D), retirou-se os adobes do local onde foram colocados para obterem a cura desejável e, em seguida realizou-se os procedimentos necessários para efectuar os ensaios.

O ensaio deve seguir os seguintes procedimentos:

1. Para os cubos utilizados (10cm e 15 cm), começou-se por medir duas dimensões em cada uma das três direcções (a, b e H), nas linhas médias dos dois lados opostos, como indicado na Figura 29, registando os resultados. Esta medição foi feita com o Parquímetro digital (precisão de 1mm);

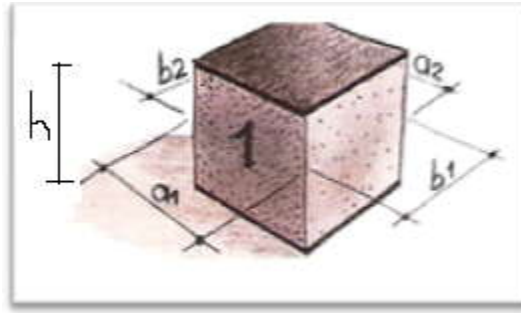


Figura 29: Forma de medição das dimensões dos adobes (Faria, 2002)

2. Determinou-se a massa de cada um dos cubos (resolução ± 0.5), registrando os resultados;
3. Calculou-se a densidade do adobe, antecedido pelo cálculo do volume do mesmo.

4.3.2.2 – Determinação da resistência à compressão dos adobes

Em primeiro lugar e para a realização deste ensaio nos diferentes adobes produzidos a partir dos Solos (A, B, C e D), retirou-se as amostras numeradas do local de cura, posteriormente colocou-se as mesmas na bancada de trabalho.

Para a realização deste ensaio seguiu-se os seguintes procedimentos:

1. Medir a secção de rotura com o Paquímetro digital (precisão 1mm);
2. Posicionar cada provete na Máquina Universal de Ensaio (Kingtest), com capacidade de carga de $\pm 500\text{kg}$, realizando todos os ajustes necessários para aplicar o carregamento;
3. Rebentar o provete na máquina (a manivela);
4. Registar o resultado da resistência à compressão (f_c), bem como o da carga de rotura do provete de compressão (F_{rup}), nomeadamente em MPa e kgf.

Nas Figuras abaixo (30, 31, 32 e 33), estão representados os equipamentos utilizados na realização da caracterização física e mecânica dos adobes.



Figura 30: Máquina utilizada no ensaio de compressão simples



Figura 31: Balança utilizada para pesar os provetes



Figura 32: Estufa utilizada para secar as amostras dos diferentes solos



Figura 33: Ensaio de caracterização mecânica dos provetes

4.4 – Resultados

Os resultados dos ensaios de determinação da densidade e da resistência à compressão dos adobes serão apresentados sob a forma de Tabelas nas Secções 4.3.1 a 4.4.4, para os solos A, B, C e D, respectivamente.

4.4.1 – Provetes com Solo A

Na Tabela 14 estão apresentados os provetes do Solo A, bem como a sua composição. É de referir que todos os cubos tiveram o mesmo tempo de cura (42 dias), a quantidade de água aplicada é variável em alguns provetes e foram utilizados cubos de 10 e 15cm.

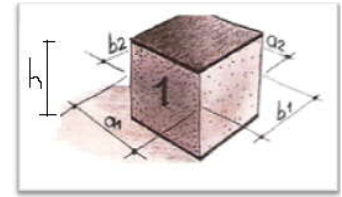
Tabela 14: Composição dos provetes produzidos com solo A

N.º Proвете	Composição (terra e cal aérea)	Qt. de água (g)	Tempo de cura (dias)	Cubo (cm)	Peso (g)
1	Só terra	1200	42	15	4463
2	Só terra	1200	42	15	4514
3	Traço 1:10	1200	42	15	5080
4	Traço 1:10	1200	42	15	4884
5	Traço 1:10	1200	42	10	1366
6	Traço 1:10	1200	42	10	1343
7	Traço 1:5	600	42	15	4629

Na Tabela 15 estão apresentados os resultados da Densidade e da Resistência à Compressão do Solo A.

Tabela 15: Resultados da densidade e da resistência à compressão do solo A

Procedência do Solo:							Medição das dimensões da secção de rotura do cubo				
Camabatela - Angola											
Cubo 15cm / Cubo 10cm											
Dimensões efectivas do cubo (mm)											
Provete N.º	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	h ₁	h ₂	Secção (cm²)	Massa (g)	$\rho_{ap\ C}$ (g/cm³)	F _{rup} (kgf)	f _c (MPa)
1	14,30	14,20	14,20	14,20	14,50	14,60	203,06	4463	1,52	4181	2,02
Média	14,25		14,20		14,55						
2	14,60	14,70	13,90	13,60	14,40	14,70	207,35	4514	1,54	4079	1,93
Média	14,65		13,75		14,55						
3	14,70	14,80	15,00	15,00	14,80	14,80	220,52	5080	1,55	4385	1,95
Média	14,75		15,00		14,80						
4	14,50	15,00	14,50	15,00	14,70	14,90	200,20	4884	1,52	3773	1,85
Média	14,75		14,75		14,80						
5	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	100,00	1366	1,37	714	0,70
Média	10,00		10,00		10,00						
6	9,80	9,80	10,00	10,00	10,00	10,00	93,10	1343	1,37	1428	1,5
Média	9,80		10,00		10,00						
7	15,00	15,00	14,50	14,50	14,70	14,80	223,50	4629	1,44	1530	0,70
Média	15,00		14,50		14,75						



4.4.2 – Provetes com Solo B

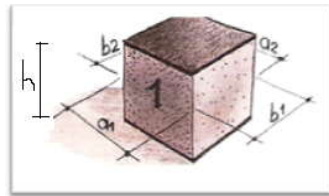
Na Tabela 16 estão apresentados os provetes do Solo B, bem como a sua composição. É de referir que todos os cubos tiveram o mesmo tempo de cura (42 dias), a quantidade de água aplicada é variável em alguns provetes e foram utilizados cubos de 10 e 15cm.

Tabela 16: Composição dos provetes produzidos com solo B

N.º Provede	Composição (terra e cal aérea)	Qt. de água (g)	Tempo de cura (dias)	Cubo (cm)	Peso (g)
8	Só terra	1050	42	10	1233
9	Só terra	1050	42	10	1225
10	Só terra	1050	42	15	4255
11	Traço 1:10	1200	42	15	4739
12	Traço 1:10	1200	42	15	4698
13	Traço 1:5	525	42	15	4786

Na Tabela 17 estão apresentados os resultados da Densidade e da Resistência à Compressão do Solo B.

Tabela 17: Resultados da densidade e da resistência à compressão do solo B

Procedência do Solo:							Medição das dimensões da secção de rotura do cubo				
Camabatela - Angola											
Cubo 15cm / Cubo 10cm											
Dimensões efectivas do cubo (mm)							Secção (cm²)	Massa (g)	$\rho_{ap\ C}$ (g/cm³)	F_{rup} (kgf)	f_c (MPa)
Provelte N.º	a_1	a_2	b_1	b_2	h_1	h_2					
8	9,30	9,50	9,30	9,50	9,50	9,50	90,25	1233	1,47	1734	1,88
Média	9,40		9,40		9,50						
9	9,30	9,50	9,50	9,80	9,50	9,50	90,25	1225	1,42	1428	1,55
Média	9,40		9,65		9,50						
10	14,00	14,90	13,70	14,00	14,00	14,30	196,00	4255	1,50	3569	1,79
Média	14,45		13,85		14,15						
11	14,50	14,50	14,30	14,30	14,40	14,40	216,09	4.739	1,59	3467	1,57
Média	14,50		14,30		14,40						
12	14,70	14800	14,70	14,90	14,60	14,80	219,03	4698	1,46	3161	1,42
Média	14,75		14,80		14,70						
13	14,50	14,50	14,50	14,50	14,60	14,70	207,35	4786	1,55	2651	1,25
Média	14,50		14,50		14,65						

4.4.3 – Provetes com Solo C

Na Tabela 18 estão apresentados os provetes do Solo C, bem como a sua composição. É de referir que todos os cubos tiveram o mesmo tempo de cura (42 dias), a quantidade de água aplicada é variável em alguns provetes e foram utilizados apenas cubos de 15cm.

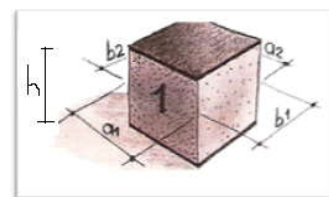
Tabela 18: Composição dos provetes produzidos com Solo C

N.º Proвете	Composição (terra e cal aérea)	Qt. de água (g)	Tempo de cura (dias)	Cubo (cm)	Peso (g)
14	Só terra	2500	42	15	3936
15	Só terra	2500	42	15	4083
16	Traço 1:10	2500	42	15	4333
17	Traço 1:10	2500	42	15	4250
18	Traço 1:5	1200	42	15	4040

Na Tabela 19 estão apresentados os resultados da Densidade e da Resistência à Compressão do Solo C.

Tabela 19: Resultados da densidade e da resistência à compressão do solo C

Procedência do Solo:							Medição das dimensões da secção de rotura do cubo				
Camabatela - Angola											
Cubo 15cm											
Dimensões efectivas do cubo (mm)											
Proвете N.º	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	h ₁	h ₂	Secção (cm²)	Massa (g)	$\rho_{ap\ C}$ (g/cm³)	F _{rup} (kgf)	f _c (MPa)
14	13,90	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	198,80	3936	1,44	1734	0,86
Média	13,95		14,00		14,00						
15	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	186,30	4083	1,49	1835	0,97
Média	14,00		14,00		14,00						
16	14,80	14,90	14,80	14,80	14,70	14,80	222,00	4333	1,34	3263	1,44
Média	14,85		14,80		14,75						
17	14,50	14,70	14,50	14,50	14,60	14,70	217,56	4250	1,37	3365	1,52
Média	14,60		14,50		14,65						
18	14,30	14,30	14,40	14,50	14,50	14,50	201,64	4040	1,35	2039	1,00
Média	14,30		14,45		14,50						



4.4.4 – Provetes com Solo D

Na Tabela 20 estão apresentados os provetes do Solo D, bem como a sua composição. É de referir que todos os cubos tiveram o mesmo tempo de cura (42 dias), a quantidade de água aplicada é variável em alguns provetes e foram utilizados cubos de 10 e 15cm.

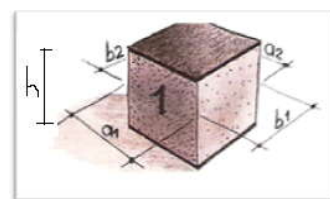
Tabela 20: Composição dos provetes produzidos com solo D

N.º Proвете	Composição (terra e cal aérea)	Qt. de água (g)	Tempo de cura (dias)	Cubo (cm)	Peso (g)
19	Só terra	1200	42	15	6207
20	Só terra	1200	42	15	6552
21	Só terra	1200	42	15	6466
22	Traço 10:1	1200	42	15	6743
23	Traço 10:1	1200	42	15	6578
24	Traço 5:1	600	42	10	1928
25	Traço 5:1	600	42	10	1975

Na Tabela 21 estão apresentados os resultados da Densidade e da Resistência à Compressão do Solo D.

Tabela 21: Resultados da densidade e da resistência à compressão do solo D

Procedência do Solo:							Medição das dimensões da secção de rotura do cubo				
Huambo - Angola											
Cubo 15cm / Cubo10cm											
Dimensões efectivas do cubo (mm)											
Provete N.º	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	h ₁	h ₂	Secção (cm²)	Massa (g)	$\rho_{ap\ C}$ (g/cm³)	F _{rup} (kgf)	f _c (MPa)
19	15,00	15,00	14,50	14,50	14,50	14,50	225,00	6207	1,97	3263	1,42
Média	15,00		14,50		14,50						
20	14,50	14,80	14,90	14,80	14,80	14,80	213,16	6552	2,05	4079	1,88
Média	14,55		14,85		14,80						
21	15,00	15,00	15,00	14,50	15,00	15,00	225,00	6466	1,95	2651	1,16
Média	15,00		14,75		15,00						
22	15,00	15,00	14,50	14,50	14,50	14,50	210,25	6743	2,14	18559	8,70
Média	15,00		14,50		14,50						
23	15,00	15,00	14,50	14,50	14,50	14,50	225,00	6578	2,09	16213	7,10
Média	15,00		14,50		14,50						
24	10,00	10,00	10,00	9,90	10,00	9,60	98,00	1928	1,98	9993	10,00
Média	10,00		9,95		9,80						
25	10,00	10,00	10,00	10,00	9,50	10,00	100,00	1975	2,03	9585	9,40
Média	10,00		10,00		9,75						



4.5 – Conclusões

Nas Tabelas 22 e 23 serão apresentados os valores médios da densidade e da resistência à compressão simples dos provetes ensaiados, com as respectivas percentagens de estabilizante.

Tabela 22: Valor médio da densidade

% de Estabilizante	Solo A (g/cm ³)	Solo B (g/cm ³)	Solo C (g/cm ³)	Solo D (g/cm ³)
0%	1,53	1,46	1,47	1,99
5%	1,45	1,53	1,36	2,01
10%	1,44	1,55	1,35	2,12

Tabela 23: Valor médio da resistência à compressão

% de Estabilizante	Solo A (MPa)	Solo B (MPa)	Solo C (MPa)	Solo D (MPa)
0%	1,98	1,74	0,92	1,49
5%	0,70	1,25	1,00	9,7
10%	1,5	1,50	1,48	7,9

Posteriormente à realização dos ensaios mecânicos, verificou-se que o local de cura ideal para o adobe é aquele que seja coberto, por proporcionar perda gradual de humidade e maior uniformidade na secagem, evitando-se assim o fenómeno de contracção e o aparecimento de fendas, que diminuem a resistência e o aproveitamento da produção. Visto que o local de cura utilizado neste trabalho não era coberto, proporcionou-se maior perda de humidade, constatando-se assim a manifestação de algumas fendas em alguns cubos antes do ensaio, o que deve ter interferido nos resultados obtidos.

Os ensaios mecânicos realizados sobre os cubos de adobe revelam valores significativos à compressão (0.7 à 10 MPa), sendo os adobes produzidos com o solo do Huambo os que apresentaram melhores resultados. Do ponto de vista da análise granulométrica, a granulometria revelou que as amostras com maiores fracções de partículas de maiores dimensões apresentam valores de resistência à compressão superiores. A adição de adjuvantes no processo de fabrico em alguns cubos proporcionou excelentes resultados quanto a resistência mecânica.

Os critérios adoptados na produção referentes à humidade ideal e estabilização com cal aérea (com variados traços), promoveram a melhor qualidade nos adobes.

O processo de produção dos adobes em cubo com traço 1:10, apresentou resultados superiores, comparativamente aos outros traços utilizados.

Dos resultados médios relativos de resistência à compressão obtidos na nossa pesquisa, fazendo uma comparação com os resultados do estudo realizado por Neves & Faria, (2008), como ilustrado na Tabela 24 (adaptada de Neves e Faria, 2008), mostra que os resultados obtidos nesta tese de dissertação de Mestrado não estão muito longe dos resultados obtidos por eles, embora que os solos utilizados em ambas as pesquisas serem diferentes, uma vez que uns são de Angola e outros do Brasil.

Tabela 24: Resistência à compressão dos diferentes corpos-de-prova em relação à do cubo 7,5cm (adaptada de Neves e Faria, 2008)

Tipo de CP	Laboratório				
	A	B	C	D	E
Cubo de 7,5cm	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Cubo de 10cm	0,98	0,96	1,21	0,73	0,95
Cubo de 15cm	0,91	0,96	1,38	0,76	0,90

CAPÍTULO 5 – COMPORTAMENTO DE BLOCOS DE ADOBE PRODUZIDOS COM SOLO DE HUAMBO NA PRESENÇA DA ÁGUA

5.1 – Introdução

Huambo situa-se no planalto central de Angola, a cidade está localizada a uma altitude de 1600m acima do nível do mar. Como em todas as outras províncias de Angola com excepção daquelas onde existe a escassez de água, as construções mais frequentes nos bairros da periferia das grandes cidades são em adobe (CEAPB, 2005). Tal como na Vila de Camabatela a tipologia das habitações não difere muito, são habitações pobres com um ou dois compartimentos (actualmente já se verifica um aumento dos compartimentos em algumas habitações).

No presente capítulo será apresentado um ensaio, baseado em Normas Neozelandesas e Australianas, avaliando assim a qualidade dos solos para construção em adobe (terra crua), bem como a durabilidade dos blocos de adobe, ajudando para uma aplicação mais correcta em paredes externas mais expostas à intempéries.

Neste estudo, os blocos de adobe foram ensaiados no laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e produzidos em cubos apenas com o solo da região do Huambo (Solo D).

5.2 – Ensaio de durabilidade pelo método de Geelong

5.2.1 – Objectivo dos ensaios

O principal objectivo deste protocolo experimental é avaliar a erosão causada pelo impacto das gotas que advém das chuvas na superfície dos blocos de terra crua. Por outro lado, neste ensaio procura-se observar a capacidade que os blocos de adobe possuem em absorver a água proveniente das chuvas.

5.2.2 – Descrição geral dos ensaios

O protocolo experimental a ser realizado neste capítulo deve ser efectuado num local onde não haja sol nem vento, evitando assim alterações bem como influência nos resultados.

Para a realização deste ensaio seguiu-se os procedimentos abaixo descritos:

1. Gotejar água (cerca de 100 ml) a uma altura de 40 cm sobre uma das faces inclinada do bloco de adobe, em que o tempo ideal de gotejamento deve estar entre 20 a 60 minutos, respectivamente, conforme ilustrado nas Figuras 34 e 35;
2. Após a experiência, mede-se a profundidade do sulco com a ajuda de uma ponta cilíndrica com cerca de 3,15 mm de diâmetro na sua extremidade.
3. Logo a seguir a conclusão do ensaio de gotejamento, é necessário partir o bloco no ponto onde se verificar maior erosão e, em seguida medir a penetração da humidade na área de fractura.



Figura 34: Medição da altura (40 cm) a aplicar no ensaio

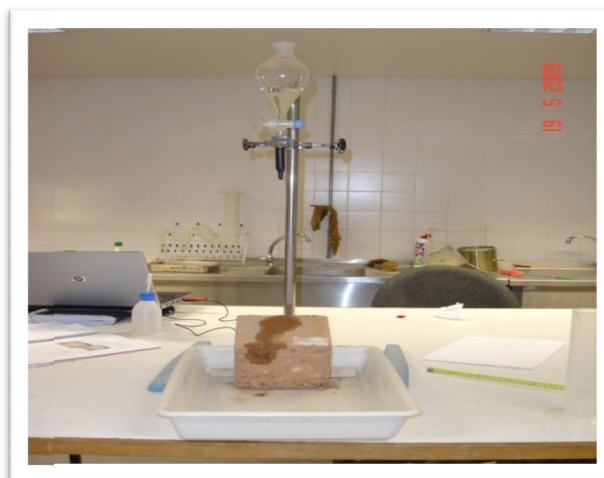


Figura 35: Dispositivo utilizado para o ensaio de erosão pelo método de Geelong

5.2.3 – Resultados

Na Tabela 25 estão apresentados os resultados dos provetes da experiência realizada bem como a sua composição. É de referir que todos os cubos tiveram o mesmo tempo de cura (49 dias) e foram utilizados cubos de 10 e 15 cm.

Tabela 25: Resultados dos ensaios

N.º Provede	Composição	Média da		Penetração da água	Média da
		Profundidade	Profundidade		penetração
		do sulco (mm)	do sulco (mm)	(mm)	da água (mm)
26	Só terra	1,15	1,15	20,5	20,5
27	Traço 10:1	---	---	5	5
28	Traço 5:1	---	---	4	4

5.2.4 – Conclusões

Após o término do estudo e uma vez analisado os resultados, pode-se concluir que relativamente à profundidade dos sulcos medidos nesta experiência, para os cubos produzidos com adição de adjuvantes (cal aérea) a sua resistência à erosão é bastante elevada, comparando com o cubo sem adição de estabilizante. O cubo produzido com apenas terra apresentou uma resistência não muito fraca, pois na face de prova formou uma profundidade do sulco não muito notável (cerca de 1,15 mm), conforme ilustrado nas Figuras 36-a) e 36-b).

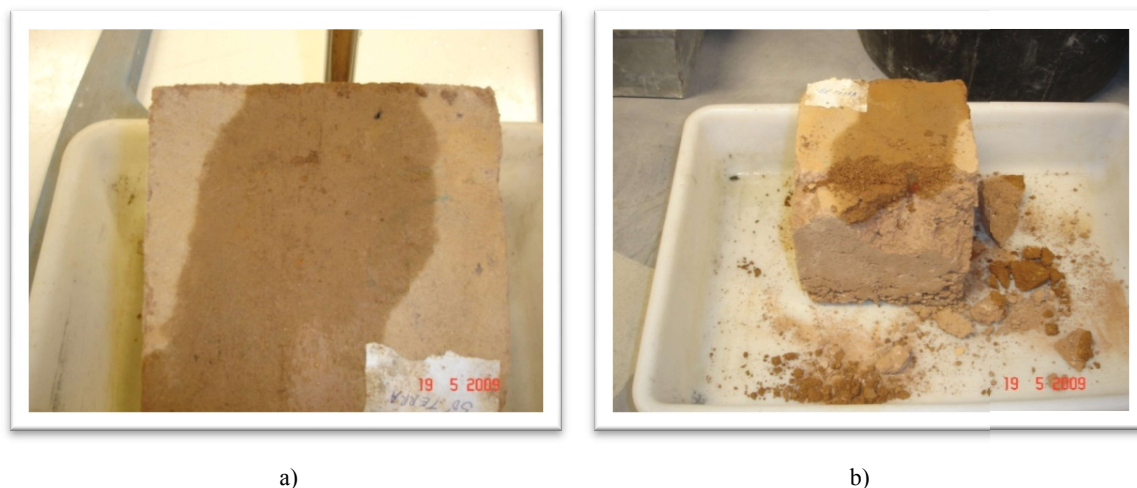


Figura 36: Erosão: a) Erosão causada pelo impacto das gotas; b) Penetração da água no interior do cubo

Com base na profundidade do sulco (Tabela 26, 27 e 28), pode-se atribuir um índice de erosão do adobe, baseando-se no método de Geelong (NZS 4298, 1998), admitindo como critério o valor que corresponde à profundidade do sulco.

Tabela 26: Índice de erodibilidade para o ensaio de erosão pelo método de Geelong (NZS 4298, 1998)

Propriedade	Critério	Índice de Erodibilidade
Profundidade do Sulco, D (mm)	$0 < D < 5$	2
	$5 \leq D < 10$	3
	$10 \leq D < 15$	4
	$D \geq 15$	5 (reprovado)

Tabela 27: Índice de erodibilidade para o adobe 26 (Só terra)

Cubo	Índice de Erodibilidade
26	2

Tabela 28: Interpretação do ensaio de erosão pelo método de Geelong (NZS 4298, 1998)

Profundidade do Sulco, D (mm)	Índice de Erodibilidade	Utilização do Adobe
$0 < D < 5$	2	Apropriado para algumas paredes externas mais expostas
$5 \leq D < 10$	3	Apropriado para paredes externas protegidas
$10 \leq D < 15$	4	Apropriado para algumas paredes externas protegidas
$D \geq 15$	5 (reprovado)	Inaceitável para paredes externas

Pode-se concluir que, como a profundidade do sulco do adobe em causa é de cerca de 1,15 mm, o seu índice de erodibilidade é 2, logo este bloco de adobe é apropriado para algumas paredes exteriores mais expostas a intempéries, segundo a interpretação do teste pelo método de Geelong. Os blocos produzidos com estabilizantes, não apresentaram degradação devido ao impacto das gotas de água, no entanto, também podem ser utilizados em paredes externas mais expostas.

Segundo o Anexo E da norma utilizada neste ensaio (Norma Neozelandesa 4298, 1998) que permite seleccionar o material, os cubos estudados neste teste encaixam-se em todos os parâmetros do Anexo, uma vez que a profundidade de penetração foi inferior a 120 mm e a altura dos adobes varia de 10 a 15 cm.

CAPÍTULO 6 – IDENTIFICAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS PATOLOGIAS MAIS FREQUENTES NAS CONSTRUÇÕES DE ADOBE EM CAMABATELA

6.1 – Introdução

A construção em alvenaria de adobe é a técnica construtiva mais comum e vulgar bastante utilizada na arquitectura popular de Angola (Carvalho, 2008).

A análise das patologias das construções em adobe permite distinguir um conjunto principal de agentes de degradação, cujos efeitos e consequências importa conhecer, para melhor compreender os processos segundo os quais se manifestam e, contra eles, poder actuar de forma eficaz (Faria-Rodrigues, 2007).

Foram analisados uma série de construções existentes na região de Camabatela, mais precisamente na Vila, com o objectivo de identificar as patologias existentes naquelas habitações. A técnica construtiva utilizada na região carece de várias deficiências que deverão ser corrigidas, tornando assim as construções mais vulneráveis e susceptíveis a enormes patologias associadas à má concepção.

6.2 – Principais agentes de degradação

De acordo com Faria-Rodrigues, (2007), os principais agentes de degradação das construções em adobe na sua generalidade são os seguintes:

Acções Mecânicas

Algumas acções mecânicas podem provocar danos estruturais nas paredes de adobe, que vão desde a fendilhação (com consequente abertura de caminhos preferenciais para o acesso da água) até à própria rotura e colapso da construção. Os efeitos da acção sísmica encontram-se entre os mais gravosos, especialmente se existirem deficiências ao nível do contraventamento das construções (Faria-Rodrigues, 2007).

Erosão

A acção da chuva, do vento com elementos em suspensão, dos seres vivos e principalmente dos sais solúveis higroscópicos podem provocar erosão nas paredes de adobe (Faria-Rodrigues, 2007).

O impacto da chuva, directo ou repetido, vai alterando a superfície dos elementos exteriores das habitações, provocando desgaste. As escorrências de água da chuva sobre uma superfície contribuem para a erosão dessa superfície. Os salpicos da chuva que bate no solo ou em elementos reentrantes ou salientes produzem erosão nas superfícies com que contactam (Faria-Rodrigues, 2007).

O vento tem uma acção mecânica, tanto mais forte quanto maiores forem as partículas em suspensão. Esta acção poderá ainda ser reforçada se houver contacto com a água (Faria-Rodrigues, 2007).

Os seres vivos provocam pontualmente choques acidentais e podem ser responsáveis por outras patologias de humidade (Faria-Rodrigues, 2007).

Os sais solúveis higroscópicos são os últimos elementos associados à erosão, mas não menos importantes. Os sais solúveis higroscópicos existem em maior ou menor quantidade em grande parte dos materiais de construção e nomeadamente na terra. É frequente, especialmente em construções em terra crua, e tanto mais quanto mais incompatível for o seu revestimento, que a cristalização dos sais ocorra perto da interface entre o suporte e o respectivo revestimento, pelo que acaba por resultar no destacamento de todo o revestimento e degradação da camada superficial do suporte (Faria-Rodrigues, 2007).

As consequências principais da erosão são a degradação da superfície e, eventualmente, de alguma espessura do elemento, com consequente diminuição da resistência mecânica do material, acentuação de vias de penetração de água e infiltração por absorção capilar (Faria-Rodrigues, 2007).

Infiltração e Absorção da Água

A presença da água em contacto com os elementos de construção conduz a absorção dessa água por parte das paredes de terra crua por ascensão ou difusão capilar ou por infiltração pela fendilhação existente. A água pode ter origem na chuva, no terreno ou em acidentes “caso de roturas em tubagens” (Faria-Rodrigues, 2007).

As consequências principais da infiltração e da absorção da água são uma diminuição da resistência mecânica e do isolamento térmico, o transporte dos sais solúveis higroscópicos (existentes nos materiais, no terreno ou em fluidos de tubagens) dos quais resultam normalmente os problemas de degradação por cristalização de sais após secagem da água. A dilatação/retração do material provoca novas fendilhações, a que se seguem maiores infiltrações e desenvolvimento de vegetação parasitária (Faria-Rodrigues, 2007).

Condensação de Vapor de Água

A existência de vapor de água em excesso e a ocorrência de situações propícias a que este vapor de água condense à superfície ou no interior dos elementos da construção pode provocar um humedecimento do material, geralmente localizado na superfície interior do elemento em contacto com o exterior, ou na interface interna entre materiais diferentes, ou ainda na espessura de um material (Faria-Rodrigues, 2007).

As principais consequências da condensação são o risco de degradação por desenvolvimento de fungos e bolores, a redução do isolamento térmico, a diminuição local da resistência mecânica e o risco de descolamento do acabamento ou do revestimento (mais ou menos associados a uma espessura da parede) pela acção da hidratação/cristalização dos sais solúveis higroscópicos (Faria-Rodrigues, 2007).

Resumindo, as acções atrás descritas, pela frequência com que ocorrem sobressaem os mecanismos de degradação construtivos, essencialmente devido à presença da humidade. De uma forma genérica (exceptuando as acções mecânicas), pode dizer-se que o estado de conservação das construções em adobe dependerá, essencialmente, da eficiência de quatro aspectos fundamentais, nomeadamente:

- Um bom corte de capilaridade nas fundações;
- Uma boa protecção do soco das paredes exteriores;
- Um revestimento das paredes que efectivamente as proteja;
- Uma boa cobertura (se possível inclinada, com prolongamento em beiral, afastando da superfície da parede os planos de queda da água da chuva, e do soco, os respectivos salpicos de água que bate no solo (Faria-Rodrigues, 2007).

6.3 – Patologias mais frequentes e outros problemas associados às construções em Camabatela

6.3.1 – Cobertura

Na região de Camabatela, as habitações mais antigas têm cobertura de quatro águas. Actualmente, as coberturas são feitas de uma ou duas águas, havendo sempre quatro paredes susceptíveis de apanhar chuva, conforme ilustrado nas Figuras 37-a), 37-b) e 37-c), contribuindo assim para a rápida degradação das paredes. A inclinação da cobertura é muito reduzida (quase plana), o que é bastante mal, não permitindo a protecção das águas das chuvas nas paredes exteriores das casas. A escolha inadequada da cobertura pode dar lugar a vários problemas à construção, que podem reverter-se em inúmeras e graves patologias.

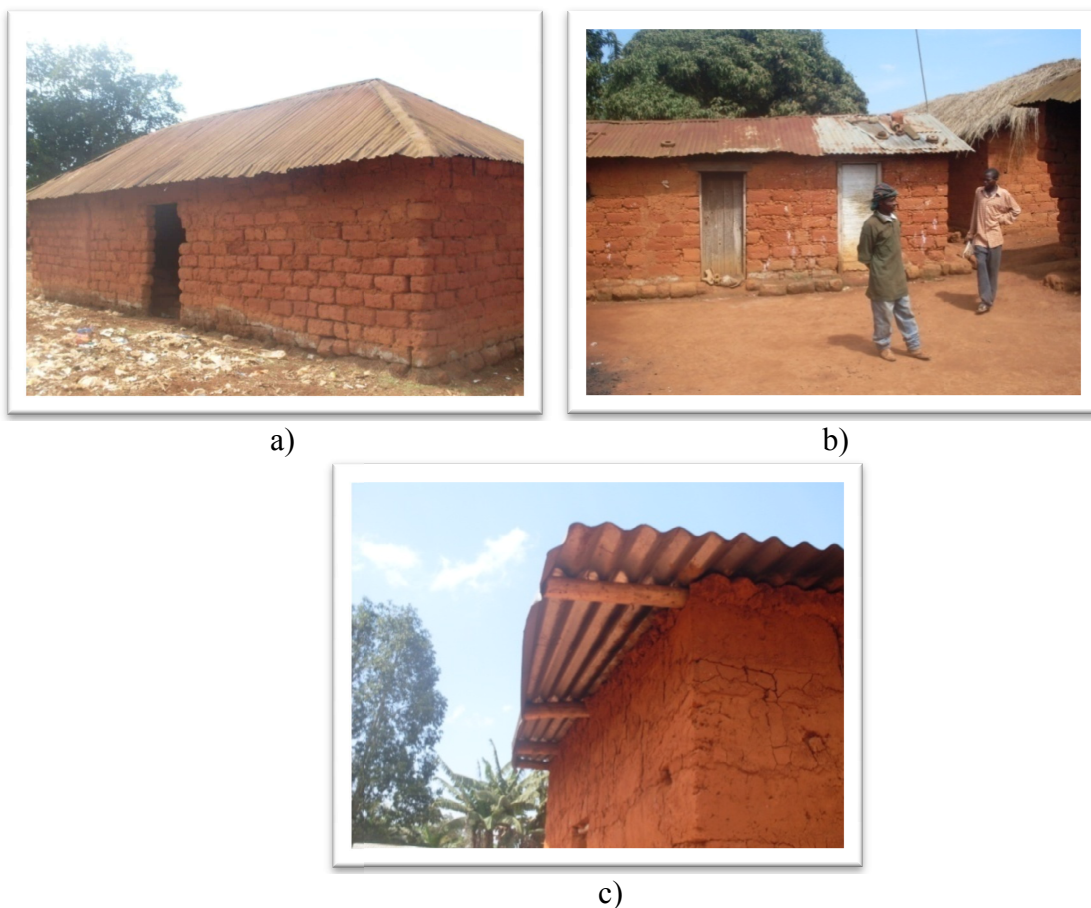


Figura 37: Coberturas de Camabatela: a) Cobertura de 4 águas; b) Cobertura de 2 águas; c) Cobertura de 1 água

6.3.2 – Beirais

Os beirais quando existem são muito reduzidos e não protegem as paredes, constituindo assim um ponto de debilidade destas construções. O seu mal dimensionamento permite um impacto directo mais violento das gotas de água sobre os adobes, provocando a separação de algum material e consequente aceleração do fenómeno de erosão nos mesmos.

Existem várias referências bibliográficas que abordam questões relacionadas com as dimensões mínimas para o comprimento dos beirais, a salientar o “Manual para la construccion de viviendas de adobe” (Morales *et al.*, 1993), que indica um comprimento mínimo que permite escoar a água das chuvas para lá dos 50 cm de distância das paredes, conforme ilustrado na figura abaixo (Figura 38).

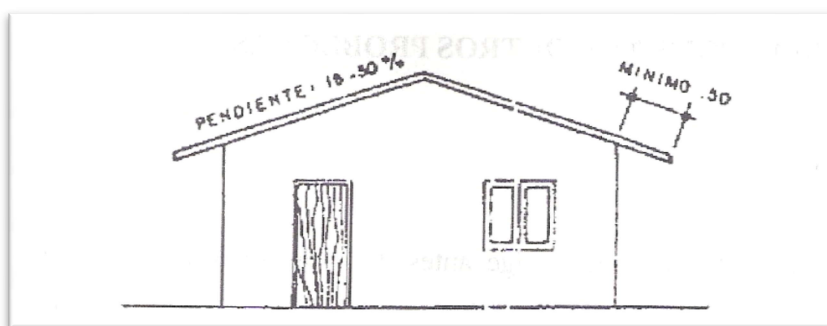


Figura 38: Comprimento mínimo do beiral (Morales *et al.*, 1993)

6.3.3 – Capilaridade

O fenómeno de capilaridade é bastante habitual em paredes de adobe. São muito perceptíveis nas construções em Camabatela e, a sua ocorrência está na origem de diversas patologias. Por outro lado, o fenómeno de capilaridade quando acompanhado pelo transporte de sais, pode provocar patologias mais severas nas construções.

O transporte de sais associados à ascensão capilar contribui para o aumento das cavidades no interior do adobe, estando na origem de deficiências superiores até ao nível onde se verifica a ascensão da água. A retracção dos sais arrastados pela água gera tensões no interior do adobe que levam a fissuração do mesmo.

6.3.4 – Fundações

As patologias verificadas nas fundações (executadas em adobe) das habitações da Vila de Camabatela, estão relacionadas com a qualidade e forma de aplicação dos adobes, mas no entanto, são também altamente condicionadas pelo processo construtivo utilizado naquela região de Angola.

6.3.5 – Retracção

Nas construções em adobe, o fenómeno de retracção é muito frequente. Quando ocorre origina diversas patologias, tais como destacamento da camada de reboco, separação dos elementos estruturais e fissuração. Na região de Camabatela, a totalidade das construções em adobe apresentam patologias que surgem através do fenómeno de retracção. O fenómeno de retracção pode surgir nos adobes, no reboco ou na argamassa das juntas de ligação. Se a retracção ocorrer após assentamento dos adobes, surgem falhas nas paredes que ajudam a penetração da humidade, impulsionando a fixação de algumas plantas e fungos nas paredes que lentamente deterioram a estrutura da parede de adobe, conforme ilustrado na Figura 39.



Figura 39: Separação entre adobes devido à retracção da argamassa

Este fenómeno pode manifestar-se de uma outra maneira, nomeadamente o destacamento do reboco das paredes, conforme ilustrado nas Figuras 40-a) e 40-b). No entanto, é de salientar que os solos utilizados na produção de adobes na região de Camabatela apresentam uma elevada retratividade. É aconselhável que a argamassa de reboco a ser

aplicada nas paredes exteriores tenha uma capacidade de retracção idêntica à da base, garantindo assim uma qualidade e segurança das habitações, evitando que se criem tensões que partam as ligações existentes entre a parede e o reboco, respectivamente.



a)



b)

Figura 40: Destacamento do reboco devido à retracção da argamassa: a) Paredes de uma habitação; b) Paredes de um muro de vedação

6.3.6 – Padieiras

As padieiras existentes nas moradias da Vila de Camabatela possuem um vão de comprimento elevado e entregas insuficientes, possibilitando a formação de flechas muitas vezes excessivas a longo prazo (Figura41).



Figura 41: Padieira com alguma deformação devido ao excessivo comprimento do vão

As padieiras não estão preparadas para receber e suportar cargas pontuais, mas quando as suas entregas não possuírem dimensão suficiente, a carga transferida da padieira para a alvenaria de terra crua aproxima-se a uma carga pontual, acabando por entrar em rotura (Figura 42).



Figura 42: Entregas insuficientes originando rotura do material

As entregas não devem nunca apresentar um comprimento inferior a 40cm. Segundo o “Manual para la construccion de viviendas de adobe” (Morales *et al.*, 1993), o seu comprimento está condicionado à largura do vão, conforme figura abaixo (Figura 43).

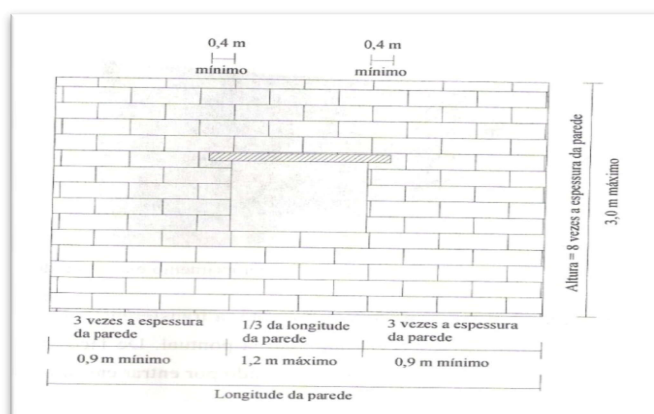


Figura 43: Dimensões indicadas para paredes e vãos (adaptado de Morales *et al.*, 1993)

6.3.7 – Outros problemas

Resumindo, existem outros problemas patológicos que surgem com frequência na região de Camabatela, que a seguir passo a descrever:

- As habitações não são construídas em planos normais (normalmente inclinadas), podendo danificar posteriormente as paredes;
- As construções não são feitas de acordo aos pontos cardiais, são orientadas através do sol;
- Os lintéis são muito finos e encurvam com facilidade;
- Não há entrada de luz (não existe vidros nas janelas), logo não há desinfecção da própria casa, o que pode provocar várias doenças;
- A maior parte das casas não são rebocadas, o adobe sofre retracção, facilitando o aparecimento de fissuras do exterior para o interior;
- Os adobes aquando da sua construção são cruzados, ou seja, são colocados de forma não uniformizada e desorganizada, o que faz diminuir a sua resistência mecânica;
- O pé direito das habitações é muito baixo, diminuindo assim a circulação de ar no interior das mesmas;
- Os adobes não são produzidos com cuidado, normalmente são produzidos em qualquer lugar, isto é próximo da zona onde será erguida a residência, devido a carência de transporte por parte dos populares da região.

6.4 – Medidas para evitar as patologias nas construções de adobe em Camabatela

Para melhorar e evitar várias patologias nas construções de adobe na Vila de Camabatela, começaríamos por apresentar algumas medidas que podem ser imediatas e que apresentam ou não um baixo custo em termos económicos, mas muito viáveis para solucionar algumas patologias graves naquelas habitações. As medidas mais pertinentes são as seguintes:

- Executar as fundações em betão ciclópico (betão pobre);
- Colocar tela impermeabilizante após o betão ciclópico, fazendo com que a água não suba por capilaridade;
- O pé direito das casas tem que ter uma altura maior, para melhor circulação de ar no interior delas;
- As paredes têm que ser rebocadas, para impedir que as mesmas danifiquem com certa facilidade. Rebocar de preferência com tinta e cal para proteger a própria parede de acções externas agressivas e, ao mesmo tempo dar mais beleza em termos estéticos;
- A cobertura terá que ter uma inclinação aceitável, de preferência ser de quatro águas;
- Executar beirais maiores, para proteger das paredes das águas da chuva;
- É recomendável que uma cinta de vigas seja construída no topo das paredes para estruturar a casa.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES FINAIS E POSSÍVEIS TRABALHOS FUTUROS

7.1 – Conclusões

Nesta dissertação procurou-se apresentar as principais tecnologias construtivas inerentes às construções em terra crua, caracterizando os solos e o comportamento físico e mecânico dos adobes produzidos a partir dos solos de Camabatela e Huambo respectivamente, referindo também os principais fenómenos de degradação construtivos que lhe estão associados, procurando contribuir para um melhor conhecimento destas construções e implementar intervenções mais correctas para futuras edificações em adobe em Angola.

Ambos os solos são aceitáveis para o fabrico de adobe, desde que se tenha em conta alguns cuidados para evitar a retracção dos adobes. A pesquisa permitiu concluir que tanto os adobes produzidos com percentagem de estabilizante (traço 1:10 e traço 1:5) como os adobes produzidos sem estabilizante (só terra), não apresentaram qualquer manifestação de má qualidade, estando as misturas aceites para a construção. É de referir que estabilizando o solo com adjuvantes, garantiu melhor resistência à compressão do adobe, o que pode proporcionar habitações com maior qualidade e durabilidade.

No que concerne o comportamento dos adobes na presença da água, os cubos estudados nesta tese encaixam-se em todos os parâmetros normativos, uma vez que a profundidade de penetração foi inferior a 120 mm e a altura dos adobes varia de 10 a 15 cm, ambos podem ser aplicados em paredes externas expostas a intempéries.

7.2 – Considerações finais

Neste capítulo pretende-se resumir os pontos mais importantes desta Dissertação, assim como mencionar certas limitações encontradas ao longo do progresso da pesquisa.

O progresso desta pesquisa teve como principais objectivos os estudos da caracterização dos blocos de terra crua utilizados nas construções na Vila de Camabatela, as patologias mais frequentes neste tipo de construções, bem como a criação de possíveis soluções e escolha de materiais adequados na área local, a fim de minimizar diversos problemas que têm surgido.

Por outro lado, o desenvolvimento desta tese, também teve como objectivo a caracterização do adobe da cidade do Huambo, para possível comparação com os produzidos a partir dos solos da região de Camabatela.

A caracterização granulométrica dos solos e a determinação dos seus índices de consistência ou Atterberg foram os pontos de partida para a realização de toda a pesquisa. Quanto à caracterização física e mecânica dos adobes, surgiram algumas dificuldade e limitações, já que o aparelho de ensaio disponibilizado pelo laboratório permitiu apenas ensaiar provetes em cubos, não podendo ensaiar adobes com dimensões reais usadas nas construções tanto em Camabatela como no Huambo.

As principais limitações associadas a este trabalho, estiveram relacionadas com os possíveis ensaios a realizar em blocos de terra crua, uma vez que não me foi possível realizar outros ensaios por dificuldade em encontrar em Angola laboratórios capazes de realizar os mesmos, limitando bastante a minha tese em termos experimentais.

A impossibilidade de produzir BTC (Blocos de Terra Comprimido) com os solos estudados, devido à ausência de uma máquina no local onde realizei o estudo, obrigou a que o meu trabalho se baseiasse apenas em blocos de terra crua (adobe).

7.3 – Possíveis trabalhos futuros

No seguimento desta pesquisa, poderão ser desenvolvidos ainda outros estudos que possam contribuir para o melhoramento das construções em adobe em Angola e na Vila de Camabatela, em particular saliente nesta secção os de maior interesse:

- Estudo do fenómeno de retracção para os diferentes adobes com variados traços da região de Camabatela, análise dos blocos de adobe por difracção de raios x, bem como o estudo do ciclo húmido / seco dos adobes;
- Estudo do comportamento dos adobes à flexão;
- Estudo baseado em ensaios in situ (ensaios expeditos). É importante referir em futuros estudos a realização de ensaios das paredes existentes de adobe in situ, para melhor compreender o comportamento das mesmas;
- No que concerne ao comportamento da água, seria fundamental realizar ensaios de erosão pelo Método de Geelong para os solos de Camabatela;
- É também fundamental que em futuros estudos se efectue uma pesquisa mais aprofundada acerca dos materiais locais utilizados como adjuvantes, como a palha e o capim. O saco de cimento reciclado (queimado) pode ser uma óptima solução para estabilizar os adobes, melhorando assim a sua resistência.
- Finalmente, fica a sugestão de intensificar o estudo não só nas duas localidades estudadas, mas sim nas dezoito províncias de Angola e de editarem alguns manuais com linguagem simples e clara ensinando as técnicas de produção de adobes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM D 2487-85. Classificação Unificada de Solos.
- Barbieri, R., (2007).
www.vitruvius.com.br/arquitetismo/arqtur03
(Pesquisa realizada em Novembro de 2008)
- Borges, S., (2007).
<http://simoneborges.zip.net/>
(Pesquisa realizada em Novembro de 2008)
- Bíblia Electrónica, (1999). (CD ROM): Revista do CD ROM, v.4, n.49, ago.
- Colibri, (2008).
http://colibri-angola.blogspot.com/2008/10/parte-7-as-casas-de-adobe_22.html
(Pesquisa realizada em Novembro de 2008)
- Caputo, H.P., (1994). Mecânica dos solos e suas aplicações. 6.^a ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A 165-169.
- Corrêa, A.A.R.; Teixeira, V. H.; Lopes, S. P; Oliveira, S. O., (2005). Avaliação das Propriedades Físicas e Mecânicas do Adobe (Tijolo de Terra Crua).
- CEAPB, Centro de Educação Agrícola da Província do Bié, (2005): Manual de Treinamento Agrícola. Solos do Planalto Central em Angola. Parte 1. Propriedades Físicas.
- Carvalho, G.N.C., (2008). Estudo de soluções para uma escola em blocos de terra crua: Camabatela.
- Escola Profissional de Desenvolvimento de Serpa., (2006). Construção em terra.
<http://www.epdrs.pt>
(Pesquisa realizada em Outubro de 2008)
- Enteich, G.; Augusto, A., (1963). Suelo-cimento su application en la edificacion. Bogotá: Centro Interamericano de Vivienda y Planeamento, 99 p.
- Fathy, H., (1980). Construindo com o povo : Arquitectura para os pobres. Editora Salamandra, SP.

- Faria, B.O., (2002). Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso na represa de Salto Grande (Americana.SP). São Carlos, Brasil. Tese (Doutorado), Programa de Doutorado do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada CRHEA, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Faria-Rodrigues, P., (2007). Construções em Terra Crua: Tecnologias, Potencialidades e Patologias.
- Gomes-Correia, A., (1988). Revisão da classificação de solos para propósitos de Engenharia: Revista GEOTECNIA N.º 52.
- Hernandez, R.; Enrique, L; Luna, M.L.A., (1983). Cartilha de pruebas de campo para seleccion de tierras en la fabricación de adobes. México: Conescal, 72 p.
- JSOLOMON, (2008). Muralha da china.
<http://caixa2.com/2008/07/30/fotos-da-muralha-da-china/-22k>
(Pesquisa realizada em Maio de 2009)
- Jones, P., (2008).
<http://paulojones.com/tecnicas/adobe.php>
(Pesquisa realizada em Dezembro de 2008)
- Lavinsky, E.C.A.; Seródio, R.S.; Ferreira-Filho, E.M; Cunha, J., (1998). Resistência de adobes estabilizados com diversos materiais disponíveis na região cacauzeira da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19., Piracicaba, SP. Anais.
- LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Portugal. Especificação E 239 (1970).
- Mbagwu, J.S.C.; Abeh, O.G., (1998). Prediction of engineering properties of tropical soils using intrinsic pedological parameters. Soil Science, Baltimore, v.163, n.2, p.93-102.
- Martinez, E.A., (1979). (Coord.). Manual para la construccion das viviendas con adobe.(S.l.:s.n.),16 p. (Cuadernos de Material Didático, 2).
- Milanez, A., (1958). Casa de terra, as técnicas de estabilização do solo a serviço do homem do campo. São Paulo: SESP.
- Mchenry, P. G., (1984). CRATerre, p.62.
- Morales, R.M.; Cabrejos, R.; Rengifo, L.A., (1983). Manual para la construcción de viviendas de adobe.

- MAUAA, Ministério da Agricultura, Urbanismo e Ambiente de Angola, (2007). Capacitação em gestão sustentável de terras para Angola. ID do Projecto: PIMS N.º 3379, Outorga N.º 00044526, Projecto N.º 00052416, Agência executora PNUD.
- Neuman, J. V.; Bernalles, J. B.; Blondet, M., (1984). Resistência sísmica de la mamposteira de adobe. Lima: Pontificia Universidade Católica del Peru, 19 p. (Publicacion 01-84.01 Série Difision).
- NZS 4298:1998, (2000). New Zealand Standard: Materials and Workmanship for Hearth Buildings.
- Neves, C.; Faria, B.O., (2007). Ensayos Inter-Laboratoriales. Rede Ibero-Americana Proterra.
- Neves, C.; Faria, B.O., (2008). Programa Interlaboratorial Proterra. Ensaio de Adobe. II Congresso de Arquitectura e Construção com Terra no Brasil; VII Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra.
- Norma Portuguesa Definitiva NP – 143.
- O. M., Organização Missanga, (2006). Programa de Acção: Educação Integrada na Missão dos Frades Capuchinhos em Camabatela, Projecto: Construção com Formação. Entidade Promotora: Organização Missanga - Associação de Promoção da Educação e Cultura e Vice - Província Angolana da Ordem dos Frades Menores Capuchinhos.
- Oliveira, M.L.; Gedanken, A.; Ruiz, H.A, (1997). Utilização do penetrômetro de cone na determinação do limite de liquidez em latossolos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, 1997, Campina Grande. Anais... Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. CD Rom.
- Oliveira, L.B., (2005). Introdução ao Estudo de Adobe: Construção de Alvenaria. http://www.unb.br/faupos_graduacao/paranoa/edicao2005/adobe.pdf
(Pesquisa realizada em Janeiro de 2009)
- Order Fine Art Print, (2008). Mesquita de Djénne. <http://www.sacredsites.com/africa/mali/djenne.html>
(Pesquisa realizada em Novembro de 2008)
- Ortega, A., (1983). Materiaux et techniques de construction. Lima: Pontificia Universidade Católica del Peru, 43 p.
- Preservar o ambiente, (2006). [http://www.arouca.biz/Opiniao/Pagina_do_Leitor/ESA - Preservar o ambiente 20060203984/-26k](http://www.arouca.biz/Opiniao/Pagina_do_Leitor/ESA_-_Preservar_o_ambiente_20060203984/-26k)
(Pesquisa realizada em Novembro de 2008)

- Pacheco, A. A. R. C.; Dias Júnior, M. S., (1990). Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe. (S.l.: s.n.), 14 p.
- Rocha, M., (2005) Workshop de Construção com Terra Crua (Taipa, Adobe e BTC), 7 de Outubro de 2005.
- Rodrigues, J. W., (1980). A casa de moradia no Brasil antigo. Revista do Serviço de Património Histórico e Artístico Nacional, são Paulo, p. 159-197.
- Rolim, M. M.; Freire, W. J., (1998). Resistência à compressão de tijolos fabricados com solo-vinhaça concentrada. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 17, n. 3.p 1-8. Mar.
- Souza, C.M.A.; Rafall, L.Z L.; Luciano, B.V., (2000). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n3, p.460 – 464, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.
- Sowers, G.F. In: Black, C.A. Methods of Soil Analysis PART 1. ASA. and ASTM, Madison, Wisc., p. 391-399.
- Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, 5, Aveiro, (2007). Terra em seminário. Lisboa: Argumentum, cop. 2007. ISBN 978-972-8479-49-7. p.
- UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina., (2007). Arquitectura de terra.
http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2004-1/arq.terra/historico.htm
(Pesquisa realizada em Novembro de 2008)
- UC, Universidade de Coimbra, (2008) – Laboratório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Civil.
- UFJF, Universidade Federal de Juiz de Fora, (2009).
http://www.geotecnia.ufjf.br/MECSOL/T11_limite_de_liquidez.htm
(Pesquisa realizada em Abril de 2009)
- U.N., United Nations, (2004). Mapa de Angola.
http://www.un.org/depts/dhl/maplib/maps_pages/wm-africa2.htm
(Pesquisa realizada em Novembro de 2008)
- Varum, H.; Costa, A.; Silveira, D.; Carvalho, G. e Silva, L., (2007). Caracterização dos solos e adobes usados na construção em Camabatela, Angola.
- Velloso, C.H.V.; Lara, D.S.; Faria-Neto, J.L.; Saffar, J.M.E.; Pereira, N.Z., (1985). Relatório parcial de acompanhamento do projecto “estabilização de solos por processos físicos-químicos para a construção de paredes de alvenaria ou monolíticos em habitações unifamiliares de baixo custo”. Belo Horizonte: CETEC, 14 p.

- Wikipédia, a enciclopédia livre, (2009). Adobe
<http://wikipedia.org/wiki/adobe>

(Pesquisa realizada em Novembro de 2008)

- Williams-Ellis, C.; Eastwick-Field, E., (1950). Building in cob-pise, and stabilized earth, London: Country Life, 138 p